

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Modernizace pracoviště s tenzometry v laboratoři senzorů neelektrických veličin

Modernisation of Laboratory Experiment for Measurement of Tensometers

Zadání bakalářské práce

Student: **Mark Minařík**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2612R041 Řídicí a informační systémy

Téma: Modernizace pracoviště s tenzometry v laboratoři senzorů
neelektrických veličin
Modernisation of Laboratory Experiment for Measurement
of Tensometers

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Řada úloh pro měření a testování je dnes vyhodnocována s využitím technologie Virtuální instrumentace. Jedná se o doplnění PC komponentou pro měření či generování signálů a SW komponentou, která zajistí automatizaci úlohy či sofistikované zpracování signálu. Práce se zabývá komplexním řešením pracoviště měření s tenzometry a zejména vývojem SW v LabVIEW pro automatizaci úlohy měření v laboratoři senzorů neelektrických veličin.

Body zadání:

1. Seznámení se s požadavky na úlohu měření s tenzometry.
2. Definování koncepce úlohy a koncepce obslužné aplikace. (demonstrace vlivu teploty na měření s tenzometry, měření rychlých dějů, dlouhodobé měření s demonstrací tzv. tečení)
3. Seznámení se s oblastí virtuální instrumentace a prostředím LabVIEW.
4. Navržení koncepce obslužného SW úlohy. (měření a ukládání dat do DB, vizualizace měření)
5. Implementace SW.
6. Zhodnocení dosažených výsledků závěrečné práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Ilustroval Viktorie VLACHOVÁ. Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9..
- [2] BRESS, Thomas J. *Effective labview programming*. 1st ed. Allendale: NTS Press, 2013, 701 s. ISBN 978-1934891087.
- [3] BITTER, Rick, Taqi MOHIUDDIN a Matt NAWROCKI. *LabVIEW: advanced programming techniques*. 2nd ed. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, c2007. ISBN 978-0-8493-3325-5.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Bilík, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



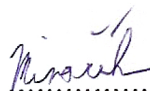
doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě 30. dubna 2019



.....

Rád bych na tomto místě poděkoval panu doc. Ing. Petru Bilíkovi, Ph.D. a panu Ing. Davidu Valovi za odborné konzultace.

Abstrakt

Tématem práce je modernizace laboratorní úlohy, sloužící k seznámení studentů s problematikou měření hmotnosti s využitím tenzometrů. Práce se zabývá principy a problémy práce s tenzometry, výrobou tří laboratorních přípravků a tvorbou desktopové aplikace.

Dva z těchto přípravků slouží k demonstraci negativních vlivů, jenž způsobují chybu měření. Mezi tyto vlivy patří náklon váhy mimo vodorovnou rovinu, vliv teploty okolního prostředí a tzv. tečení tenzometrů. Třetí přípravek vznikl jako ukázka možnosti měření vibrací za pomoci tenzometrů.

Desktopová aplikace je vytvořena ve vývojovém prostředí LabVIEW. Tato aplikace slouží ke sběru dat z tenzometrických vah za pomoci měřící karty, k jejich zpracování, vizualizaci a uložení. Součástí řešení je i jednodeskový mikropočítač, který je použit k řízení akčních členů a ke sběru dat ze snímačů měřících přípravků, kdy komunikace mezi ním a vizualizací v PC je řešena sériovou komunikací.

Klíčová slova: Tenzometry, Virtuální instrumentace, LabVIEW, Vizualizace, Arduino, Sériová komunikace

Abstract

The topic of this work is the modernization of laboratory task, which is used to acquaint students with the problems of weight measurement using strain gauges. The work deals with principles and problems of work with strain gauges, production of three laboratory preparations and creation of desktop application.

Two of these preparations serve to demonstrate the negative effects, which cause measuring errors. These influences include the inclination of the balance outside the horizontal plane, the influence of ambient temperature and the so-called strain gauge creep. The third product was created as an example of the possibility of measuring vibrations using strain gauges.

Desktop application is created in LabVIEW development environment. This application is used to collect data from strain gauges using a measuring card, to process, visualize and save them. The solution also includes a single board computer, which is used to control actuators and to collect data from sensors of measuring devices, where communication between it and visualization in the PC is solved by serial communication.

Key Words: Strain gauges, Virtual instrumentation, LabVIEW, Visualization, Arduino, Serial communication

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Seznam použitých zkratek a symbolů | 10 |
| Seznam obrázků | 11 |
| Seznam tabulek | 13 |
| Seznam výpisů zdrojového kódu | 14 |
| 1 Úvod | 15 |
| 2 Tenzometrické snímače zatížení | 16 |
| 2.1 Hookův zákon | 16 |
| 2.2 Rozdělení tenzometrů | 16 |
| 2.3 Princip odporového tenzometru | 17 |
| 2.4 Tečení tenzometru | 19 |
| 3 LabVIEW | 20 |
| 3.1 Práce v LabVIEW | 20 |
| 4 Návrh měřících přípravků | 23 |
| 5 Návrh měřícího přípravku s měnitelným náklonem váhy | 24 |
| 5.1 Základní konstrukce | 24 |
| 5.2 Ovládání krokového motoru | 25 |
| 5.3 Kód jednodeskového mikropočítače Arduino | 25 |
| 5.4 Postup výroby přípravku | 26 |
| 6 Přípravek pro demonstraci vlivu teploty | 29 |
| 6.1 Návrh přípravku | 29 |
| 6.2 Výroba tenzometrického snímače | 30 |
| 6.3 Postup výroby přípravku | 32 |
| 6.4 Kód jednodeskového mikropočítače Arduino | 33 |
| 7 Přípravek pro měření rychlých dějů | 34 |
| 7.1 Návrh úlohy | 34 |
| 7.2 Postup výroby přípravku | 34 |
| 8 Měření dlouhodobého konstantního zatížení tenzometru | 36 |
| 8.1 Návrh úlohy | 36 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 9 | Zapojení komponent měřících úloh | 37 |
| 10 | Měřicí karta | 38 |
| 10.1 | Vlastnosti karty | 38 |
| 10.2 | Propojení tenzometrické váhy s kartou | 39 |
| 10.3 | Připojení měřicí karty k PC | 39 |
| 11 | Sběr dat - DAQ | 40 |
| 11.1 | Konfigurace DAQmx | 40 |
| 11.2 | Čtení dat přes DAQmx | 41 |
| 11.3 | Ukončení DAQmx | 41 |
| 12 | Komunikace LabVIEW s platformou Arduino | 42 |
| 12.1 | Zahájení a ukončení sériové komunikace | 42 |
| 12.2 | Zápis na sériovou linku | 43 |
| 12.3 | Čtení ze sériové linky v LabVIEW | 43 |
| 13 | Komunikace Arduina s aplikací v LabVIEW | 45 |
| 13.1 | Čtení ze sériové linky v Arduinu | 45 |
| 13.2 | Zápis na sériovou linku v Arduinu | 46 |
| 14 | Vizualizace dat | 47 |
| 14.1 | Čelní panel měřicí úlohy s měnitelným náklonem váhy | 47 |
| 14.2 | Čelní panel úlohy pro demonstraci vlivu teploty | 48 |
| 14.3 | Čelní panel úlohy pro měření rychlých dějů | 49 |
| 14.4 | Čelní panel úlohy pro měření dlouhodobého konstantního zatížení tenzometru | 50 |
| 15 | Interní struktura aplikace ovládající a vizualizující aplikaci v LabVIEW | 51 |
| 15.1 | Hlavní smyčka | 51 |
| 15.2 | Smyčka pro dlouhodobé měření | 52 |
| 15.3 | Program pro měření rychlých dějů | 52 |
| 16 | Ukládání dat | 55 |
| 16.1 | Ukládání dat ve formátu CSV | 55 |
| 16.2 | Ukládání dat ve formátu TDM | 57 |
| 17 | Přihlašování do servisního režimu | 58 |
| 18 | Popis programu spuštěného v Arduinu | 59 |
| 19 | Závěr | 60 |
| | Literatura | 61 |

| | |
|---|-----------|
| Přílohy | 62 |
| A Blokový diagram hlavní smyčky | 64 |
| B Blokový diagram měření rychlých dějů | 65 |
| C Schéma zapojení topného tělesa s ventilátorem | 66 |
| D Přehledové schéma zapojení nastavitelného tenzometrického můstku | 67 |
| E Liniové schéma zapojení nastavitelného tenzometrického můstku | 68 |
| F Zapojení Arduina a pomocných obvodů | 69 |
| G Měřicí smyčka v LabVIEW | 70 |

Seznam použitých zkratk a symbolů

| | |
|---------|--|
| A/D | – Analog na digital |
| Arduino | – Jednodeskový mikropočítač |
| CSV | – Comma Separated Values |
| DAQ | – Data Acquisition |
| HW | – Hardware |
| LabVIEW | – Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench |
| SW | – Software |
| SubVI | – Podprogram |
| USB | – Universal Serial Bus |
| VI | – Virtual Instrument |
| 1D | – Jedno-dimenzionální |

Seznam obrázků

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Tenzometrický snímač zatížení | 16 |
| 2 | Rozdělení tenzometrů | 17 |
| 3 | Drátkový tenzometr | 17 |
| 4 | Varianty zapojení tenzometrů do můstku | 18 |
| 5 | Ukázka čelního panelu | 21 |
| 6 | Ukázka blokového diagramu | 22 |
| 7 | Arduino | 23 |
| 8 | Návrh přípravku pro změnu náklonu | 24 |
| 9 | Modul s gyroskopem a akcelerometrem | 25 |
| 10 | Použitý krokový motor | 25 |
| 11 | Závada ložiska | 26 |
| 12 | Hřídel | 26 |
| 13 | Zesílení plastové základny | 27 |
| 14 | Vyrobená váha s elektricky měnitelným náklonem | 27 |
| 15 | Návrh přípravku pro demonstraci vlivu teploty | 29 |
| 16 | Přípravek pro demonstraci vlivu teploty | 30 |
| 17 | Vyrobený tenzometrický snímač | 31 |
| 18 | Průběh měření na vyrobeném tenzometrickém snímači | 31 |
| 19 | Upravený tenzometrický snímač | 32 |
| 20 | Průběh měření na upraveném tenzometrickém snímači | 33 |
| 21 | Návrh váhy pro měření rychlého děje | 34 |
| 22 | Váha pro měření rychlého děje | 34 |
| 23 | Blokové schéma zapojení | 37 |
| 24 | Měřicí karta [11] | 38 |
| 25 | Propojení karty s váhou pro plný můstek | 38 |
| 26 | Šasi cDAQ-9171 [13] | 39 |
| 27 | SubVI pro vytvoření a nastavení měřících kanálů | 40 |
| 28 | Zjednodušená měřicí smyčka | 41 |
| 29 | SubVI pro zastavení a uvolnění kanálů | 41 |
| 30 | Blokový diagram komunikace po sériové lince | 42 |
| 31 | Zahájení a ukončení komunikace po sériové lince | 43 |
| 32 | Smyčka pro čtení a zápis na sériovou linku | 44 |
| 33 | Čelní panel měřicí úlohy s měnitelným náklonem váhy | 47 |
| 34 | Čelní panel úlohy pro demonstraci vlivu teploty | 48 |
| 35 | Čelní panel úlohy pro měření rychlých dějů | 49 |
| 36 | Čelní panel pro dlouhodobé měření | 50 |
| 37 | Algoritmus pro zápis dat do tabulky | 51 |

| | | |
|----|---|----|
| 38 | Algoritmus pro zpracování hodnot | 51 |
| 39 | Blokový diagram pro dlouhodobé měření | 52 |
| 40 | Podprogram pro převod na gramy | 53 |
| 41 | Algoritmus pro výpočet spektra signálu | 53 |
| 42 | Změřený přechodový děj před a po průchodu okenní funkcí | 54 |
| 43 | Amplitudové spektrum | 54 |
| 44 | Ukládání do souborového formátu CSV | 55 |
| 45 | Podprogram pro vytvoření názvu souboru | 55 |
| 46 | Hlavička souboru | 56 |
| 47 | Podprogram pro vytvoření hlavičky souboru | 56 |
| 48 | Podprogram pro vytvoření souboru a zápis do souboru | 56 |
| 49 | Ukládání dat ve formátu TDM | 57 |
| 50 | Přihlašování na čelním panelu | 58 |
| 51 | Přihlašování v blokovém diagramu | 58 |
| 52 | Blokový diagram programu spuštěného v Arduinu | 59 |

Seznam tabulek

| | | |
|---|---------------------------------------|----|
| 1 | Specifikace měřicí karty NI-9237 [12] | 39 |
|---|---------------------------------------|----|

Seznam výpisů zdrojového kódu

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Zahájení sériové komunikace v Arduinu | 45 |
| 2 | Čtení ze sériové linky v Arduinu | 45 |
| 3 | Zápis na sériovou linku v Arduinu | 46 |

1 Úvod

Tato bakalářská práce je zaměřena na tvorbu několika měřících úloh a jejich automatizaci s využitím technologie virtuální instrumentace. Jedná se o nahrazení drahého HW řešení otevřenou architekturou personálního počítače doplněnou o HW a SW. Doplněný HW může mít podobu multifunkční měřící karty. SW nahrazuje funkce měřícího přístroje.

Teoretická část práce se zabývá seznámením se s tenzometry. Je zde popsáno využití tenzometrů a jejich princip. Dále jsou zde popsány negativní vlivy, které mohou měření nepříznivě ovlivnit. Některé měřící úlohy jsou navrženy právě k demonstraci těchto vlivů na měření. Velká část této práce se zabývá tvorbou automatizací měření, a proto je ve druhé části teorie popsáno vývojové prostředí LabVIEW, ve kterém je vytvořen SW pro automatizaci měřících úloh.

Praktická část práce se zabývá návrhem a výrobou měřících přípravků pro měřící úlohy a tvorbou obslužného SW k těmto přípravkům. V měřících úlohách se za pomoci tenzometrických váhových senzorů měří hmotnost a hodnoty z těchto měřících senzorů jsou do PC přenášeny přes měřící kartu. Hodnoty z ostatních senzorů jsou z těchto získávány pomocí jednodeskového mikropočítače a odesílány do desktopové aplikace sériovou linkou, po které jsou v opačném směru posílány povely k řízení akčních členů. První měřící přípravek je vytvořen k demonstraci vlivu náklonu tenzometrické váhy na měření hmotnosti. Náklon je ovládán elektricky a lze ho měnit za pomoci aplikace v PC. Druhý z měřících přípravků slouží k demonstraci negativního vlivu změn teploty okolí na hodnoty získávané z tenzometrů. Tento negativní vliv změn teploty lze ovlivnit způsobem zapojení tenzometrů, a proto je možné, z aplikace v PC, měnit variantu zapojení. Samotná tenzometrická váha je v uzavřeném prostoru a změna teploty je zajištěna topným tělesem s ventilátorem, které je řízeno jednodeskovým mikropočítačem. Třetí měřící úloha je zaměřená na dlouhodobé měření, kterým je demonstrováno tzv. tečení tenzometrů. Pro tuto úlohu není vytvořen zvláštní přípravek, ale je využit první přípravek. Poslední měřící přípravek je zaměřen na měření vibrací tenzometry. Kmity se budí ručně a jsou naměřeny jako přechodový děj, který se ustaluje v nule.

2 Tenzometrické snímače zatížení

K měření hmotnosti se používají tenzometrické snímače zatížení (Obrázek 1), které se skládají z deformačního členu a na něm nalepených tenzometrů. Tíhou váženého objektu dochází k mechanické deformaci deformačního členu, na jehož povrchu se pomocí tenzometrů tato deformace měří. Tenzometr je pasivní elektrotechnická součástka, která mění svůj odpor vlivem mechanického zatížení. [1],[2],[3]



Obrázek 1: Tenzometrický snímač zatížení

2.1 Hookův zákon

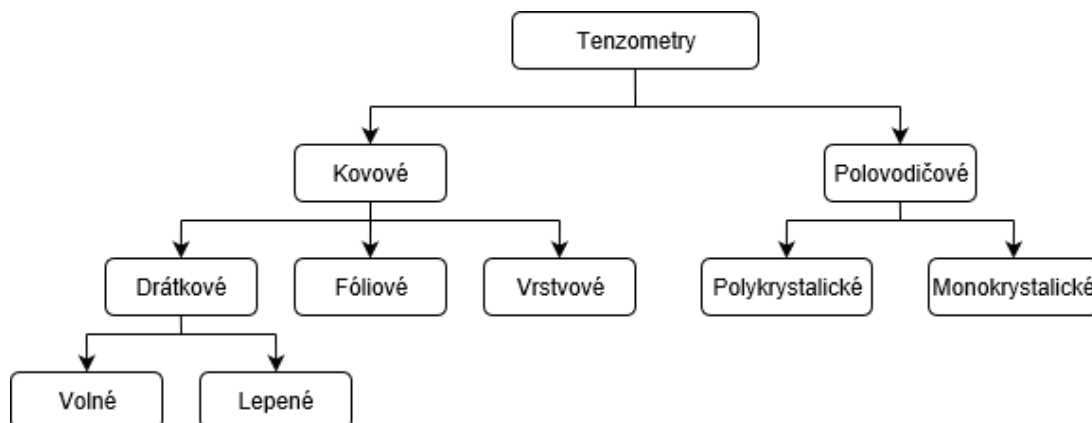
Tento zákon objevil anglický fyzik Robert Hook, po kterém je tento zákon pojmenován. Hookův zákon je důležitý pro pochopení principu tenzometru. Tento zákon říká, že při působení sil v určitém rozmezí dochází k přímé úměře mezi působenou silou a deformací materiálu, na nějž síla působí. Pro hodnoty normálového napětí menší než mez úměrnosti σ_u , je normálové napětí přímo úměrné relativnímu prodloužení. Tuto závislost popisuje vztah 1. V případě měření hmotnosti je proto lineární závislost mezi tíhou měřeného závaží a deformací naměřenou tenzometrickým snímačem zatížení. [4],[5]

$$\sigma = \frac{F}{S} = E \cdot \epsilon = E \frac{dl}{l} \quad (1)$$

Vztah pro výpočet normálového napětí, kdy σ je normálové napětí, ϵ relativní prodloužení a E modul pružnosti v tahu.

2.2 Rozdělení tenzometrů

Tenzometry se dělí na tenzometry kovové (odporové) a polovodičové (Obrázek 2). První tenzometry byly drátkové. V dnešní době se používají tenzometry fóliové a polovodičové. U drátkových a fóliových tenzometrů se využívá změny odporu v závislosti na mechanickém namáhání, zatímco u tenzometrů polovodičových se využívá piezorezistentního jevu. Jedná se o změnu měřeného elektrického odporu vlivem změny pohyblivosti vodičů. Tato změna je způsobená deformací krystalické mřížky. Polovodičové tenzometry se oproti kovovým tenzometrům vyznačují menší přesností, nelinearitou a velkým vlivem teploty. [2],[3],[6],[7]



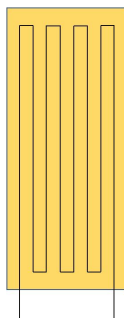
Obrázek 2: Rozdělení tenzometrů

2.3 Princip odporového tenzometru

Odporové tenzometry (Obrázek 3) fungují na principu změny odporu mechanicky namáhaného vodiče. Hodnota elektrického odporu vodiče je závislá na hodnotě měrného elektrického odporu vodiče, na délce vodiče a na jeho průměru (vztah 2). U tenzometrů se využívá změny délky vodiče, a proto jsou tenzometry nejcitlivější na namáhání ve směru delší strany. [1],[2],[3],[6]

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \quad \frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dS}{S} \quad (2)$$

Vztah pro výpočet elektrického odporu vodiče, kdy R je elektrický odpor vodiče, ρ měrný elektrický odpor, l jeho délka a S jeho průřez, a jeho diferenciální tvar.



Obrázek 3: Drátkový tenzometr

2.3.1 Vliv teploty

Velikost elektrického odporu ovlivněna řadou faktorů, mezi něž se řadí i vliv teploty. V případě, že se teplota zvyšuje, pak roste elektrický odpor vodiče. V případě, že se teplota snižuje, snižuje se i elektrický odpor, a u některých materiálů může dojít až k jeho zničení (supravodivost). Vliv teploty na elektrický odpor je popsán vztahem 3. Jelikož odporový tenzometr má stejné

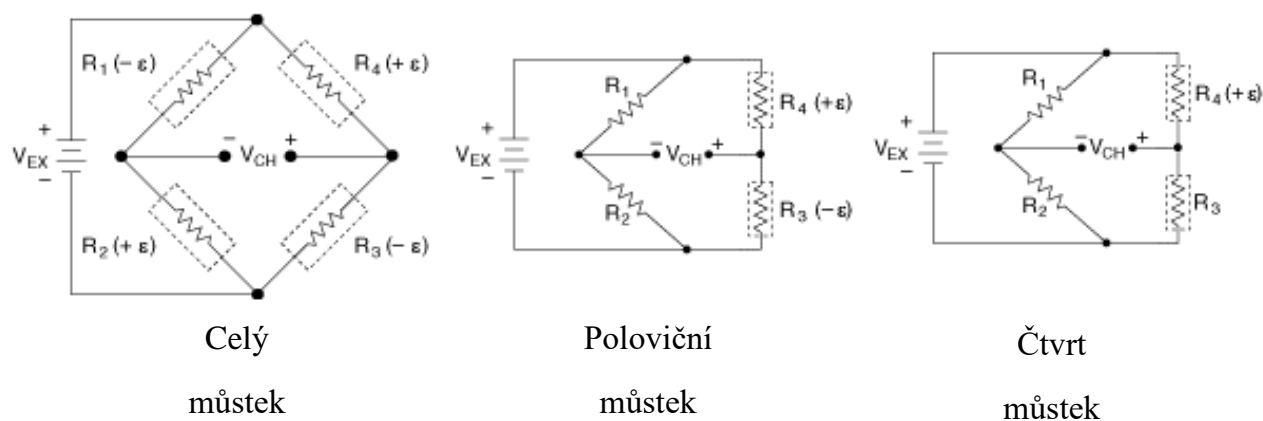
elektrické vlastnosti jako elektrický odpor, tak i na něj má vliv teplota. U tenzometrů je vliv teploty nežádoucí, jelikož způsobuje chybu měření. Proto se běžně tenzometry zapojují tak, aby se vliv teploty kompenzoval.

$$R_{\vartheta} = R_{20}(1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta) \quad (3)$$

Vztah popisující vliv teploty na elektrický odpor, kdy R_{ϑ} je odpor při teplotě ϑ , R_{20} odpor při teplotě 20°C , α teplotní součinitel a $\Delta\vartheta$ rozdíl teplot.

2.3.2 Zapojení tenzometru

Z důvodu malé změny odporů se používá Wheatsonův můstek. Ten představuje dva napěťové děliče. Do jedné diagonály se přivede napájení, zatímco v druhé diagonále se měří napětí způsobené rozvážením můstku. Používají se tři základní zapojení (Obrázek 4), které se liší podle toho, kolik je v můstku zapojeno tenzometrů.



Obrázek 4: Varianty zapojení tenzometrů do můstku

Varianty zapojení tenzometrů do můstku:

- Čtvrt můstek - je použit jeden tenzometr a tři odpory, nedochází k teplotní kompenzaci.
- Půl můstek - Pokud jsou dva tenzometry, z toho jeden aktivní, zapojeny v jedné větvy můstku, pak reagují na teplotu shodně a vliv teploty se vyruší. Teplota musí být rozložena rovnoměrně. Pokud jsou oba tenzometry zapojeny jako aktivní, pak je dosaženo dvojnásobné citlivosti.
- Celý můstek - Použití čtyř tenzometrů v můstku. V případě dvou aktivních tenzometrů je dvojnásobná citlivost. V případě čtyř je čtyřnásobná. V případě shodné teploty na všech tenzometrech, dochází k její kompenzaci.

2.4 Tečení tenzometru

Měření mechanického zatížení je ovlivněno negativním jevem, kterému se říká tečení. Jedná se o chybu, kdy při konstantním zatížení a konstantních okolních podmínkách dochází ke změně měřené hodnoty. Tato změna se zvyšuje v závislosti na čase. Tečení je způsobené nedokonalostí lepidla, kterým je tenzometr uchycen na povrch deformačního členu. [2],[8]

3 LabVIEW

LabVIEW vzniklo v roce 1983 jako produkt společnosti National Instruments. Jedná se o vývojové prostředí, využívající grafický programovací jazyk, díky kterému je umožněno snadno vytvářet profesionální SW. Využívá se převážně v oblasti virtuální instrumentace, kdy sběr dat probíhá pomocí měřicí karty propojené s PC, na kterém je spuštěn virtuální měřicí přístroj sloužící k vizualizaci a zpracování dat. [9],[10]

3.1 Práce v LabVIEW

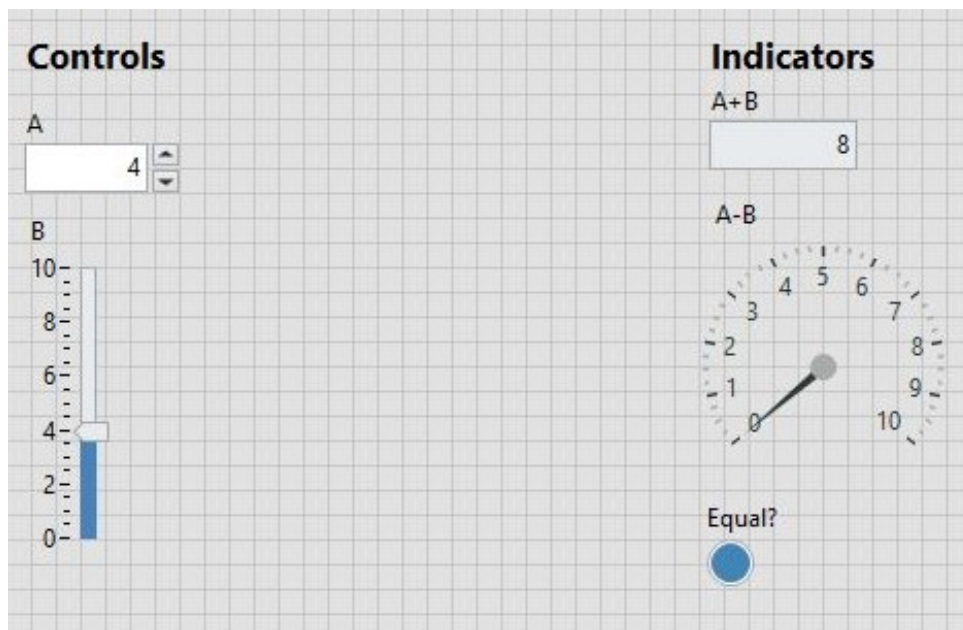
Společnost National Instruments přišla s revoluční myšlenkou, kdy se program netvoří psaním příkazu, ale pomocí propojování funkcí v grafickém vývojovém prostředí. Pro tvorbu aplikace se využívá grafický programovací jazyk "G". Program vytvořený tímto jazykem připomíná blokový diagram. Touto skutečností je umožněno tvořit programy technikům neznalých běžných textových jazyků, ale znalých blokových diagramů či elektrických schémat. Toto vývojové prostředí slouží k tvorbě virtuálního přístroje. Každé VI se skládá ze dvou navzájem propojených oken. Z čelního panelu, blokového diagramu. [10]

3.1.1 Čelní panel

Čelní panel (Front Panel) určuje jak bude VI vypadat. Jedná se o uživatelské rozhraní. Umožňuje ovlivňovat běh programu a vizualizovat výsledky. Ve srovnání s fyzickým měřicím přístrojem se jedná o jeho ovládací panel. Po vytvoření nového VI je na čelním panelu obsažena prázdná pracovní plocha. Výsledná podoba VI je následně určena programátorem umístěním ovládacích prvků. Veškeré prvky, které se na čelní panel umístí, lze snadno upravovat. Např. lze měnit jejich velikost, barvu, chování atd. Prvky na čelním panelu se dělí na vstupní a výstupní. Vstupní prvky slouží k řízení a ovládání VI. Mají podobu prvků pro vkládání číselných hodnot, tlačítek, posuvníků, přepínačů, textových polí atd. Výstupní prvky slouží k zobrazení dat na čelní panel. Mohou mít podobu číselných indikátorů, textových indikátorů, LED, grafů a dalších. [10]

Čelní panel obsahuje také nástrojovou lištu, na které se nacházejí tlačítka spuštění a zastavení běhu programu. Na této liště se také nacházejí nástroje pro úpravu textů a manipulaci s prvky čelního panelu. Lze zde nalézt i důležité tlačítko pro zobrazení kontextové nápovědy. Podobu nástrojové lišty čelního panelu si může programátor přizpůsobit. [10]

Jak vypadá čelní panel, lze vidět na obrázku 5. Tato ukázka čelního panelu obsahuje ovládací prvky na levé straně a indikační prvky na straně pravé. Přestože ovládací prvky A a B mají jinou grafickou podobu, tak v blokovém diagramu se nijak neliší. To samé platí pro indikační prvky A+B a A-B. Jak vypadá blokový diagram k tomuto VI, lze vidět na obrázku 6 a je popsán v podkapitole 3.1.2.



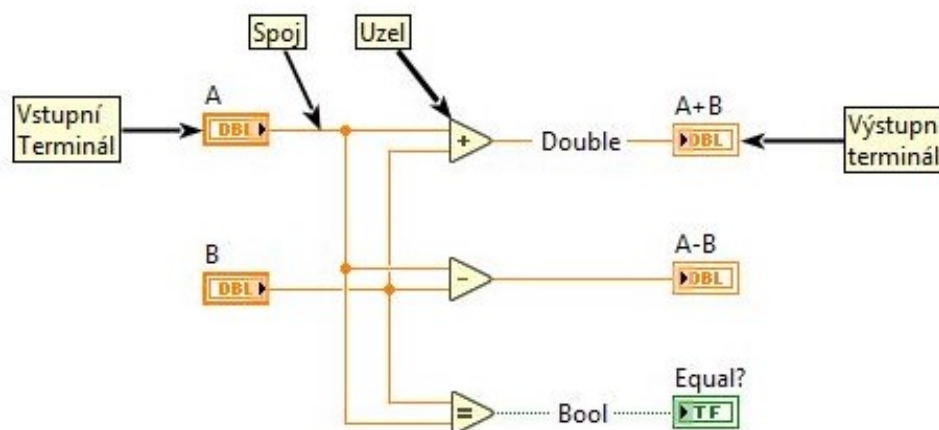
Obrázek 5: Ukázka čelního panelu

3.1.2 Blokový diagram

Blokový diagram (Block Diagram) slouží k tvorbě algoritmu a propojení prvku z čelního panelu, jedná se o část aplikace, kterou uživatel SW nevidí. Ve srovnání s fyzickými přístroji se jedná o vnitřek přístroje a ve srovnání se standardními programovacími jazyky se jedná o zdrojový kód. Blokový diagram se skládá z uzlů, terminálů a spojů. Po vytvoření VI je blokový diagram prázdný. Pokud jsou přidány prvky na čelní panel, tak se to automaticky projeví v blokovém diagramu přidáním terminálů odkazujících na tyto prvky, jelikož terminál slouží k přenášení dat mezi čelním panelem a blokovým diagramem. Podle toho, o jaký prvek čelního panelu se jedná, lze do terminálu hodnoty zapisovat, nebo z nich číst. [10]

Prvky v blokovém diagramu se propojují pomocí vodičů. Vodiče určují tok dat. Spoje se dělí podle datových typů, například na celočíselné, binární, znakové řetězce a další. Datový typ je v block diagramu reprezentován tloušťkou a barvou spoje. Spoje lze vést pouze vodorovně, nebo svisle. Prvkům pro vykonávání programu se říká uzly. Ve srovnání s textovým programovacím jazykem by se dalo říct, že odpovídají příkazu, funkci, nebo podprogramu. Otevřením palety funkcí lze do blokového diagramu přidávat funkce, které jsou reprezentovány jako grafické objekty. Uzly obsahují vstupy a výstupy. Pokud má uzel na vstupu platná data, tak se uzel vykoná. [10]

Tak jako čelní panel, tak i blokový panel obsahuje nástrojovou lištu, kde se řada tlačítek shoduje s tlačítky na čelním panelu, ale přibýly zde nástroje k ladění VI za jeho běhu. Jedná se o možnosti krokovat program, zachytávat hodnoty či zobrazit tok dat. K lazení běhu VI lze dále využívat body přerušení (Breakpoint), pomocí kterých si můžeme VI zastavit na zvolených místech. K zobrazení hodnot, kterých nabývá spoj, slouží sondy (probe). S pamětí pracuje



Obrázek 6: Ukázka blokového diagramu

LabVIEW tak, že si VI automaticky alokuje paměť podle potřeby a v případě, že již není třeba, dojde k jejímu uvolnění. [10]

Příklad blokového diagramu lze vidět na obrázku 6. Tento blokový diagram obsahuje dva vstupní terminály, jejichž výstup bude nabývat hodnoty zvolené na odpovídajícím prvku čelního panelu. Dále obsahuje tři uzly, na jejichž vstupy jsou pomocí spojů přivedeny terminály ovládacích prvků. Dva reprezentují numerické operace, sčítání a odečítání, na jejichž výstup se promítne výsledek početní operace. Třetí uzel nabyde hodnoty TRUE, pokud se hodnoty na jeho vstupech budou rovnat. Výstupy těchto uzlů jsou pomocí spojů přivedeny na vstupy terminálu přenášejícího hodnotu na odpovídající indikační prvek čelního panelu. Čelní panel k tomuto VI je na obrázku 5.

3.1.3 SubVI

Podprogram, neboli obdoba funkce v jazyce C, v LabVIEW se nazývá SubVI. Se SubVI se pracuje jako s klasickým VI. Má svůj vlastní blokový diagram a přední panel. Co zde přibýlo, je konektor, na jehož terminály se připojují prvky z předního panelu a ikona, která určuje grafickou podobu SubVI, a to se pak vloží do blokového panelu VI, nebo jiného SubVI, kde se pak chová jako uzel. Podle toho jak se konektor nastaví, bude mít SubVI vstupy a výstupy. [10]

3.1.4 Datový tok

Program v LabVIEW se vykonává jinak, než je u klasických programovacích jazyků běžné. Zatímco u textových programovacích jazyků se program vykonává sekvenčně řádek po řádku, tak u LabVIEW je tomu jinak. Jakmile má funkce na všech vstupech platná data, tak se vykoná a pošle data dále, tzv. data flow.

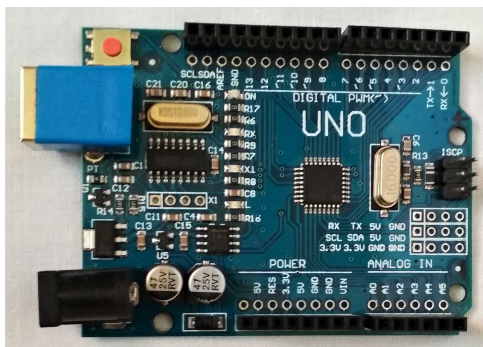
4 Návrh měřících přípravků

Pro výrobu všech tří přípravků byl proveden nákres hrubých návrhů jednotlivých vyráběných zařízení a zpracování seznamu všech základních navrhnutých komponentů a prvků. Následně byli na internetu vyhledáni výrobci a dodavatelé jednotlivých základních komponentů, stažené a vytištěné dostupné dokumentace (návody a katalogové listy). Vzhledem k vysoké ceně některých profesionálních výrobků bylo rozhodnuto, že pro dané účely budou zvoleny levnější varianty navrhnutých komponentů a také ruční výroba jednoho tenzometrického snímače, kdy jednotlivé tenzometry tenzometrického snímače nebudou předem propojeny. Každý jednotlivý tenzometr bude vyveden samostatně prodlouženými vodiči pro možnost realizace zapojení pomocí programově ovládaných pomocných relé. Po konzultaci návrhů byly objednány navržené komponenty.

Vzhledem k tomu, že se některé objednané komponenty lišily od dostupné katalogové dokumentace, byla provedena úprava návrhu a rozmístění jednotlivých prvků podle skutečných parametrů a rozměrů dodaných komponentů. Následně bylo provedeno rozměření jednotlivých prvků a zakreslení do výkresů pro strojní obrábění některých dílů a ruční výrobu. Byl proveden návrh a nakreslení el. schémat zapojení jednotlivých použitých el. komponentů a vypracován seznam podružného montážního a spojovacího materiálu. Po zajištění materiálů bylo přikročeno k samotné výrobě a montáži jednotlivých přípravků.

V měřících úlohách jsou použity dva typy tenzometrických snímačů hmotnosti YZC-131. Pro úlohu zabývající se měřením rychlých dějů je použit tenzometrický snímač s váživostí 1 Kg. Pro ostatní úlohy je použit tenzometrický snímač s váživostí 3 Kg. Deformační člen je z hliníku.

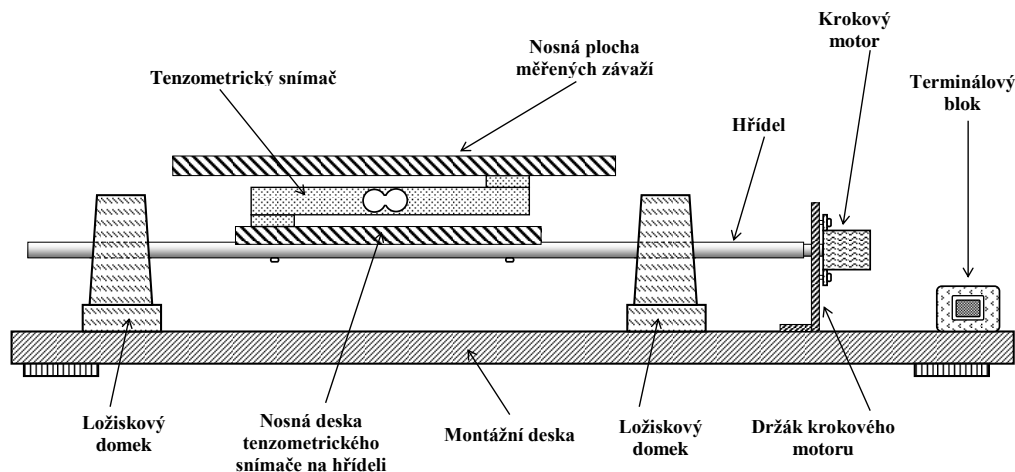
Dvě z měřících úloh potřebují ke svému řízení jednodeskový mikropočítač Arduino (Obrázek 7). Tímto mikropočítačem je regulovaná teplota, je jím řízen krokový motor a jsou jím řízená relé. Dále jsou z něj získávána data z modulu s akcelerometrem a gyroskopem, a z koncových spínačů. Všechny tyto funkce jsou blíže popsány v dalších kapitolách.



Obrázek 7: Arduino

5 Návrh měřicího přípravku s měnitelným náklonem váhy

Tato část práce se zabývá návrhem a tvorbou přípravku pro automatizovanou změnu náklonu krokovým motorem. Výchýlením tenzometrické váhy z vodorovné roviny vzniká chyba měření, kterou má tento přípravek demonstrovat.



Obrázek 8: Návrh přípravku pro změnu náklonu

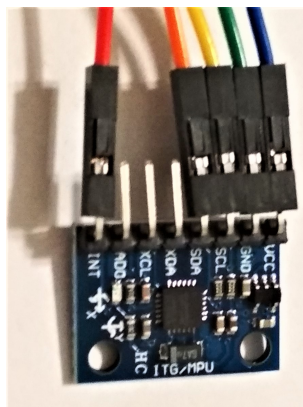
5.1 Základní konstrukce

Z počátku měla být konstrukce tvořena komplikovaným mechanismem tvořeným motorem, kovovým pístem, závitovou tyčí a základní deskou. Kolmo k desce měla být umístěná závitová tyč, kterou by motor otáčel. Na závitové tyči měl být mechanický jezdec, jenž by byl napojen pomocí kloubu na píst, jehož druhá strana by byla přichycena k základové desce. Přímo na pístu měla být uchycena tenzometrická váha. V případě, že by byl píst dole, byla by váha ve vodorovné poloze, zatímco v případě pohybu jezdce nahoru by se váha vychýlila z vodorovné roviny.

Současný návrh (Obrázek 8) je tvořen základnou z plastové desky, dvěma ložiskovými domky s ložisky, krokovým motorem, otočnou hřídelí, tenzometrickým snímačem hmotnosti, jenž je uchycen přes nosnou desku k otočné hřídeli a nosnou plochou pro měřená závaží, jež je uchycena k tenzometrickému snímači.

Náklon tenzometrické váhy je závislý na natočení hřídele. Hřídel je uchycena v ložiscích, které jsou v ložiskových domcích, a její otáčení je zajištěno elektrickým krokovým motorem.

Úhel natočení je snímán pomocí elektronického modulu MPU-6050 (Obrázek 9), který obsahuje gyroskop, akcelerometr a digitální pohybový procesor pro zpracování dat. Data z tohoto modulu jsou přenášena do řídicí jednotky tvořené jednodeskovým mikropočítačem Arduino, kde jsou data o natočení zpracována a odeslána do vizualizace v LabVIEW.



Obrázek 9: Modul s gyroskopem a akcelerometrem

5.2 Ovládání krokového motoru

Původně měl být krokový motor ovládán přímo z měřicí karty, ale z důvodu ušetření portu na měřicí kartě bylo rozhodnuto, že motor bude ovládán přes řídicí jednotku, která bude ovládaná přes sériovou linku přímo z měřicí aplikace v PC.



Obrázek 10: Použitý krokový motor

K natočení hřídele je použit krokový motor 28BYJ-48 (Obrázek 10), a driver s ULN2003 pro propojení krokového motoru s jednodeskovým mikropočítačem. Použitý krokový motor umožňuje pouze otáčení po pěti stupních. To je pro potřeby úlohy dostačující. Motor je napojený na řídicí jednotku, ale povelové instrukce k jeho otočení posílá uživatel z měřicí aplikace v LabVIEW. Náklon tenzometrické váhy je řešen jedním směrem a mezní polohy (vodorovné polohy a nejvyššího možného vychýlení) jsou hlídány koncovými spínači vymezujícími tyto krajní polohy. Koncové spínače zamezují překročení mezních poloh tím, že v krajní poloze zamezí otáčení krokového motoru a dalšímu spuštění v nesprávném směru.

5.3 Kód jednodeskového mikropočítače Arduino

Komunikace s aplikací v LabVIEW probíhá formou posílání instrukcí po sériové lince. Aby se celá instrukce vešla do jednoho bytu, tak u se přenášené velikosti úhlu natočení využila vlastnost použitého krokového motoru, který je schopen otáčet se s krokem pět stupňů. Velikost požadovaného úhlu, zadáného na čelním panelu řídicí aplikace, je podělena pěti a zakódována do zprávy. Jakmile Arduino zprávu z PC přijme, tak je třeba zase zpětně získat správnou velikost

požadovaného úhlu tím, že se přijatá hodnota vynásobí pěti, a tu poté zapsat do nastavení smyčky for, která zajišťuje rotaci motoru. Počet průchodů touto smyčkou určuje, o kolik stupňů se krokový motor otočí. V tomto kódu je také zakomponováno hlídání koncových poloh náklonu váhy a programové znemožnění rotace krokového motoru.

5.4 Postup výroby přípravku

Nejprve byla připravena základní montážní deska, na kterou budou jednotlivé montážní díly a mechanické i elektrické prvky a komponenty připevněny a namontovány. Na montážní desku byly rozměřeny a permanentním fixem zakresleny jednotlivé body pro vyvrtání připevňovacích děr a montážních otvorů.

Po odvrtání všech děr a otvorů byly na montážní desku namontovány a připevněny nejprve ložiskové domky a do otvoru v ložisku byla zasunuta připravená ocelová hřídel. Zde se projevila první vada, neboť jedno ložisko nebylo v ložiskovém domku usazeno správně a bylo značně vychýleno z vodorovné i svislé osy (Obrázek 11), tím pádem nebylo možno prostrčit ocelovou hřídel najednou oběma ložiskovými domky.



Obrázek 11: Závada ložiska

Vadný ložiskový domek byl demontován a bylo přistoupeno k pokusu o správné usazení ložiska v ložiskovém domku. Za pomoci mechanických přípravků se po nemalém úsilí, mnoha pokusech a přiměřování podařilo ložisko dostat téměř do správné pozice tak, že po namontování na montážní desku a jeho správném usazení a vycentrování se podařilo ocelovou hřídel prostrčit oběma ložisky. Na takto smontovaný konstrukční díl byl připevněn držák krokového motoru a tento byl upraven tak, aby instalovaná ocelová hřídel byla v ose s výstupní hřídelkou z krokového motoru.



Obrázek 12: Hřídel

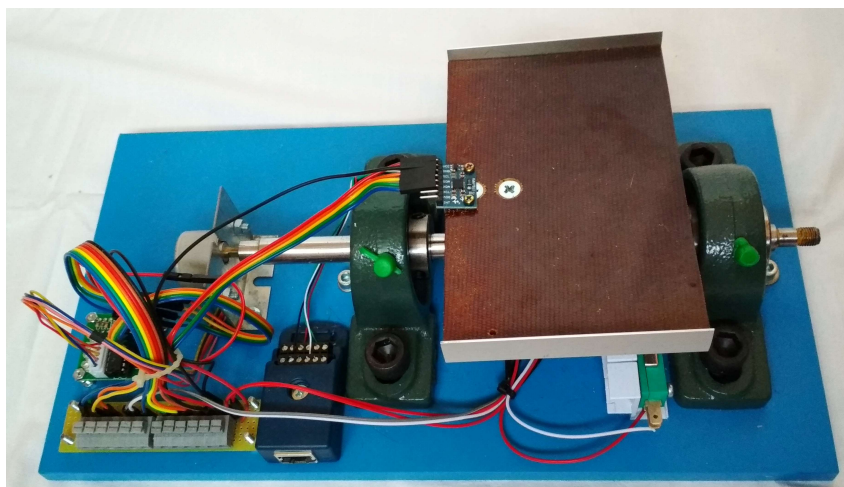
Vzhledem k tomu, že připojovací hřídelka krokového motoru je v průřezu oválného tvaru, bylo potřeba zajistit vyfrézování osově přesné oválné díry v nosné ocelové hřídelce (Obrázek 12). Na této hřídelce, v místě ofrézované dosedací plochy, jsou vyvrtány dvě osově přesné díry ke šroubovému uchycení nosné desky tenzometrického snímače k této ocelové hřídelce. Připojené

koncové spínače byly šroubově připevněny k připraveným plastovým držákům. Dále byla na montážní desku připevněna elektronická deska ovladače krokového motoru a k tomuto ovladači byly připojeny vodiče z instalovaného krokového motorku.



Obrázek 13: Zesílení plastové základny

Dále pak byla vyrobena sestava samotné tenzometrické váhy s originálním tenzometrickým snímačem. Pomocí spojovacích šroubů a vyrobených hliníkových vymežovacích podložek byly nosné pertinaxové desky přišroubovány k uvedenému originálnímu tenzometrickému snímači, a tím toto tvoří jako jeden celek tenzometrickou váhu. Tento smontovaný díl byl pomocí šroubů namontován na již v ložiskových domcích usazenou ocelovou hřídel.



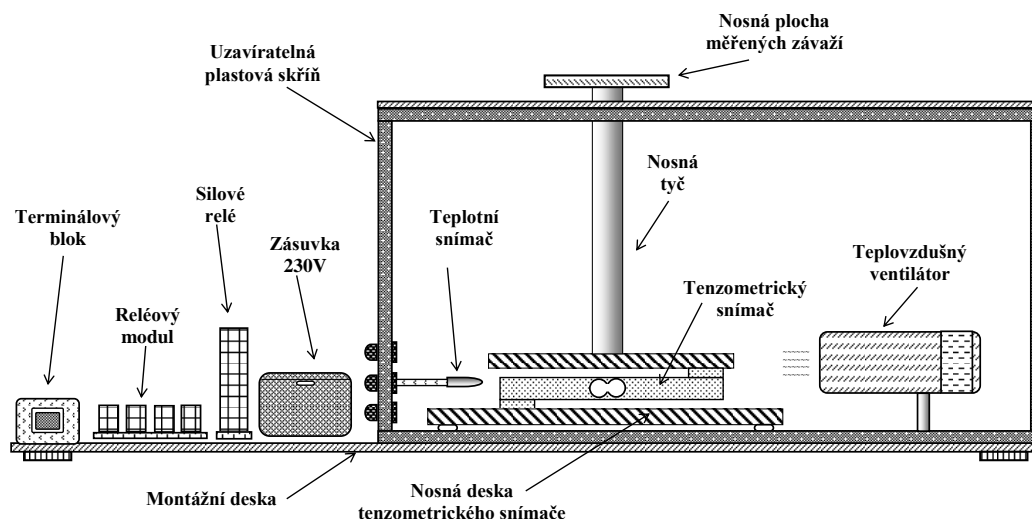
Obrázek 14: Vyrobená váha s elektricky měnitelným náklonem

Na horní pertinaxovou desku byla připevněna elektronická deska akcelerometru a gyroskopu a připojena vodiči od připojovací svorkovnice. K montážní desce je také připevněn terminálový blok, ke kterému jsou připojeny vodiče od namontovaného originálního tenzometrického snímače. Po provedených zkouškách byla ještě horní nosná plocha na měřená závaží doplněna o hliníkové pravoúhlé profily zamezující sklouznutí měřeného závaží z horní nosné desky pro závaží při náklonu.

Po čase se projevila konstrukční chyba, kdy příliš velké a těžké ložiskové domky prohýbaly plastovou základovou montážní desku, což zapříčiňovalo tlak na ocelovou otočnou hřídel a zvýšené namáhání krokového motoru. Proto bylo nutno tuto základovou montážní desku zpevnit kovovou výztuží (Obrázek 13). Vyrobený měřicí přípravek je na obrázku 14). Pro správnou funkčnost musel být modul s gyroskopem a akcelerometrem doplněn o pull up rezistor. Obdobně museli být koncové spínače doplněny o pull down rezistory.

6 Přípravek pro demonstraci vlivu teploty

Přípravek (Obrázek 15) slouží k demonstraci vlivu teploty na měření. Obsahuje tři základní zapojení s tenzometry s rozdílnými vlastnostmi.



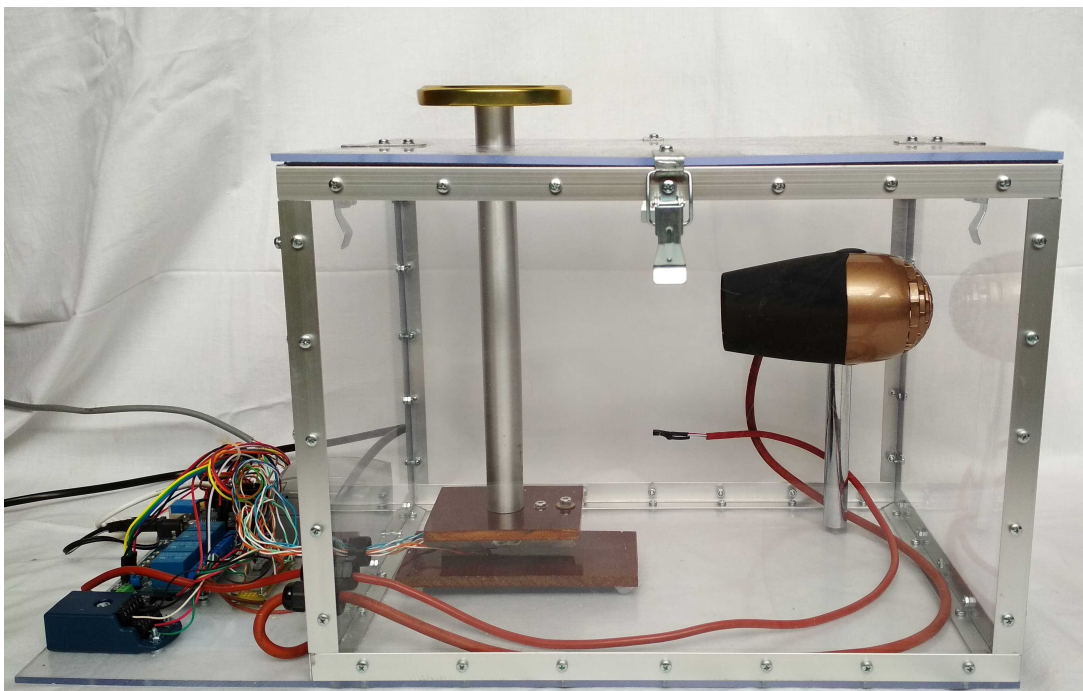
Obrázek 15: Návrh přípravku pro demonstraci vlivu teploty

6.1 Návrh přípravku

U tohoto přípravku (Obrázek 16) je velice důležité, aby na všech tenzometrech byla stejná teplota z důvodů teplotní kompenzace a porovnávání výsledků měření při různých zapojeních.

Původní návrh byl řešen tak, že všechny tenzometry budou umístěny na jedné ohřívané kovové tyči, ale takto by nedocházelo k rovnoměrnému rozdělení tepla na jednotlivé tenzometry. Proto jsem se rozhodl pro variantu se skleněnou nádobou, kde jsem původně zvažoval, že budu ohřívat kapalinu, ale nakonec jsem se rozhodl pro variantu, kdy ve skleněné nádobě bude ohříván vzduch a tím bude dosaženo stejné teploty na tenzometrech. Nakonec, pro možné riziko případného úrazu pořezáním od prasknutého skla, byl raději vyroben plastový box z plexiskla. Původně měly být v boxu tři váhy, ale z důvodu úspor bylo rozhodnuto vyrobit jednu tenzometrickou váhu, pro kterou půjde zapojení tenzometrů měnit.

Hlavní částí přípravku je uzavíratelný průhledný box, topné těleso s ventilátorem a jedna tenzometrická váha, která je následně za pomoci kontaktů pomocných relé zapojena buď jako čtvrt můstek nebo půl můstek, a také jako celý můstek. Přepínání pomocných relé, je zajištěno signálem z Arduina, které dostává instrukce z vizualizace. Na tenzometrickou váhu v boxu tlačí nosná tyč, jejíž druhý konec je vyveden otvorem v horním odnímatelném dílu plastového boxu. Na tento konec je vsazována odnímatelná nosná plocha, na kterou jsou umísťována různá měřená závaží, bez nutnosti celý box pro změnu závaží otevírat.



Obrázek 16: Přípravek pro demonstraci vlivu teploty

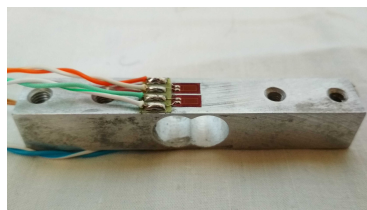
6.2 Výroba tenzometrického snímače

U tohoto přípravku je potřeba měnit zapojení tenzometrického můstku. Z tohoto důvodu vyplývá nutnost mít z každého tenzometru vývody vyvedeny zvlášť. Pro účely úlohy nemohl být použit originální koupěný váhový senzor, protože u něj jsou již nalepené odporové tenzometry zapojeny trvale do celého můstku, a toto zapojení nelze měnit. Proto bylo rozhodnuto vyrobit tenzometrický snímač s oddělenými vývody jednotlivých tenzometrů.

6.2.1 Lepení tenzometrů

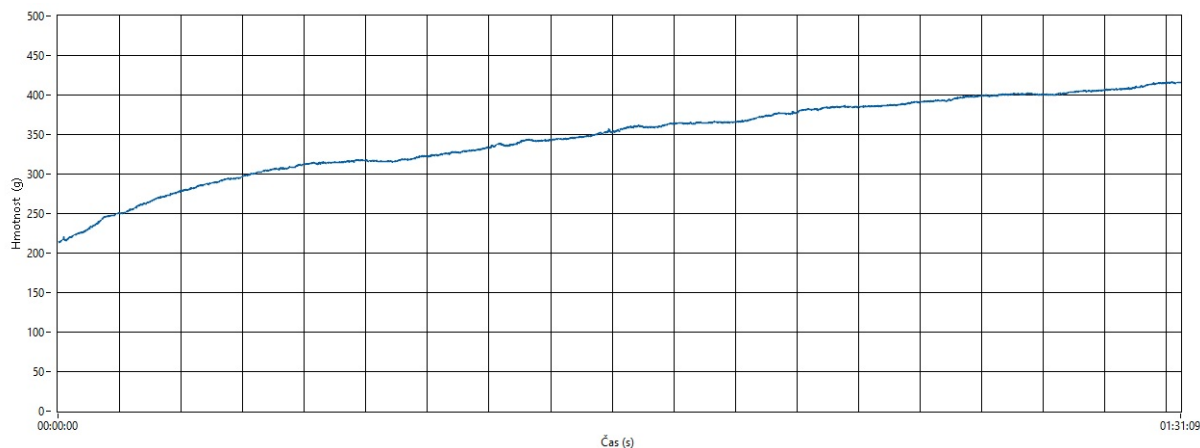
Při výrobě tenzometrického snímače bylo nutno nalepit čtyři odporové tenzometry na hliníkový deformační člen. Plocha deformačního členu, na kterou se tenzometry lepily, byla důkladně vyhlazena jemným smirkovým papírem hrubosti P400 a tato plocha byla očištěna acetonem. Poté bylo na takto vyčištěnou plochu nanесeno minimální množství kyanoakrylátového vteřinového lepidla VA 100, a okamžitě na něj byly nalepeny přesně umístěné odporové tenzometry. Tlakem na fóliový tenzometr bylo vytlačeno přebytečné lepidlo zespodu tenzometru a po dobu 3 minut byl vyvíjen tlak na nalepený tenzometr pro dostatečné přilnutí k lepené ploše. Tento postup se opakoval u lepení každého tenzometru na deformační člen. Na tento hliníkový deformační člen byly nalepeny celkem čtyři tenzometry, dva z horní a dva ze spodní části deformačního členu (Obrázek 17).

K jednotlivým tenzometrům byly na deformační člen nalepené pájecí plošky a pájením připojeny prodlužovací vodiče s barevným rozlišením. (Bylo použito vodičů z datového kabelu UTP).



Obrázek 17: Vyrobený tenzometrický snímač

Vodičové vývody těchto čtyř jednotlivých odporových tenzometrů byly propojeny do můstku a přes terminálový blok byl vyrobený tenzometrický snímač připojen k měřicí kartě. Při kontrolním měření měřené hmotnosti na vyrobeném tenzometrickém snímači pomocí měřicí karty docházelo k jevu, že naměřená hodnota při měření konstantní hmotnosti závaží v nelineární časové diferenci samovolně narůstá i klesá (Obrázek 18). Při měření hmotnosti se stejnou měřicí kartou, stejným programem, ale při využití originálního koupeného tenzometrického senzoru, bylo měření správné. Měřená hodnota byla ustálena a popisovaný jev se neprojevoval.



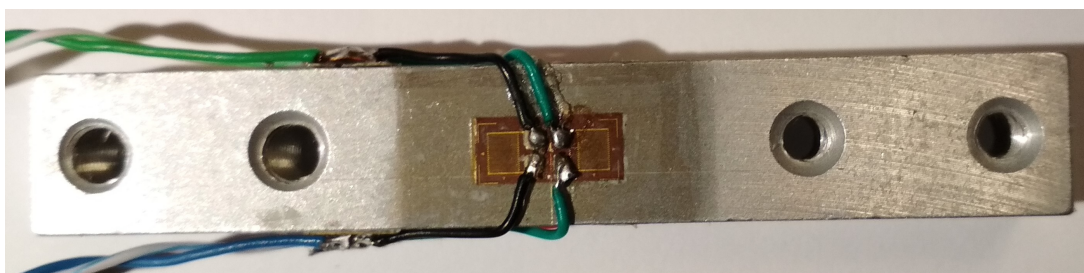
Obrázek 18: Průběh měření na vyrobeném tenzometrickém snímači

Později bylo zjištěno, že u takto nalepených tenzometrů bylo zvoleno špatné umístění na deformačním členu. V době lepení byl špatně chápán vliv děr v deformačním členu. Tato chyba však nezpůsobila chybné chování snímače, neboť i na nezatíženém tenzometrickém snímači docházelo ke změnám nárůstání a klesání měření hmotnosti, přestože prakticky nedocházelo k ovlivňování deformačního členu žádným zatížením. Ani opakovaným měřením a změnami zapojení nebylo zjištěno, co tento negativní jev způsobuje. Chyba mohla vzniknout použitím levných fóliových tenzometrů nebo jejich poškozením při lepení na deformační člen.

6.2.2 Úprava koupeného tenzometrického snímače

Po neúspěchu s lepením tenzometrů bylo přistoupeno, místo lepení dalších tenzometrů s nejistým výsledkem, úpravě originálního koupeného tenzometrického senzoru s již nalepenými fóliovými

tenzometry a k pokusu rozpojit jejich zapojení do čtyřmístků, vč. napojení samostatných vodičů ke každému fóliovému tenzometru. Nejprve musela být opatrně odstraněna krycí ochranná vrstva fóliových tenzometrů, která je vyrobena z hmoty na bázi silikonu. Z odkrytí nalepených tenzometrů a jejich zapojení u originálního tenzometrického senzoru byl zjištěn rozdíl mezi umístěním fóliových tenzometrů oproti vyráběnému tenzometrickému snímači. Na deformační člen originálního tenzometrického snímače byla nalepená dvojice fóliových tenzometrů podélně naproti sobě, a na vyráběný tenzometrický snímač byly nalepeny dva tenzometry vedle sebe. Také bylo zjištěno, že u originálního tenzometrického snímače jsou namísto čtyř samostatných tenzometrů na deformačním členu nalepeny dvě dvojice fóliových tenzometrů, kdy každá dvojice je již od výroby na fólii propojena v zapojení jako půlmůstek. Toto zapříčinilo další problém, neboť bylo nutno spojení u každé dvojice tenzometrů přerušit, oddělit, a napojit na ně nové samostatné vodičové vývody. Přerušení spojení na dvojici tenzometrů bylo docíleno proškrábnutím spoje a následně byly k tenzometrům připájeny napojovací vodiče. Vzhledem k tomu, že originální dvojice tenzometrů není uzpůsobena k napojení čtyř vodičů (chybí jedna pájecí plocha), bylo pájení vodičů k odděleným tenzometrům problematické a při pájení došlo k oddělení pájecích ploch od fólie tenzometrů a jejich následnému utržení. I přes tyto obtíže byly nakonec, za pomoci kalafuny a pájecí kapaliny, vodiče k tenzometrům připojeny (Obrázek 19).

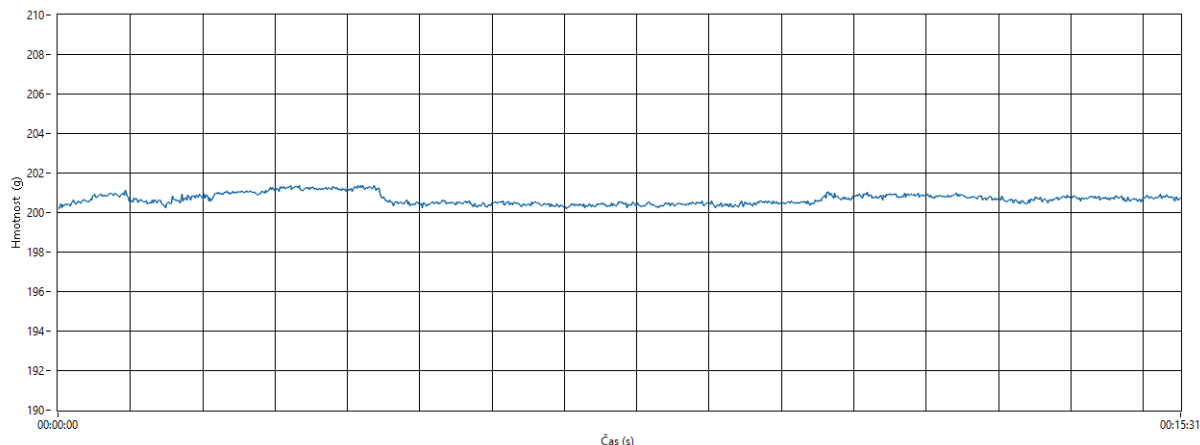


Obrázek 19: Upravený tenzometrický snímač

Na takto upraveném tenzometrickém snímači se po několika změnách zapojení podařilo dosáhnout toho, že tenzometrický snímač při konstantním zatížení i přes drobné kolísání dokáže udržet relativně ustálenou hodnotu. Naměřená hodnota má pořád tendenci samovolně klesat a stoupat, ale podařilo se tuto odchylku minimalizovat (Obrázek 20). Tato chyba měření může být způsobená mechanickým poškozením tenzometrů vlivem odstraňování ochranné vrstvy, ale i poškozením vlivem teploty při pájení.

6.3 Postup výroby přípravku

Z ručně nařezaných a opracovaných montážních desek z čírého plexiskla a pravoúhlých hliníkových profilů byl sestaven a sešroubován obvod plastové obdélníkové skříně, jenž byl přišroubován k základové montážní desce vyrobené rovněž z čírého plexiskla. Vrchní odnímatelný díl skříně byl vyroben taktéž z čírého plexiskla a k jeho připevnění k uvedené plastové skříně slouží ručně



Obrázek 20: Průběh měření na upraveném tenzometrickém snímači

otevíratelné kovové spony. K lepšímu dosednutí horního víka a jeho těsnosti bylo na horní část skříně nalepeno polyuretanové těsnění.

Dovnitř skříně byl nainstalován automaticky řízený teplovzdušný ohřev tvořený topným tělesem z odporového drátu a elektromotorkem s plastovou ventilátorovou vrtulí. Pro automatické ovládání a řízení teploty byl dovnitř této skříně nainstalován teplotní snímač připojený tepluodolným kabelem. Dále byla dovnitř skříně umístěna tenzometrická váha vyrobená obdobným způsobem, jako v předchozím případě, ze dvou pertinaxových desek, dvou hliníkových vymezovacích podložek obdélníkového tvaru, ale doplněna vyrobeným tenzometrickým snímačem s nepropojenými jednotlivými fóliovými tenzometry.

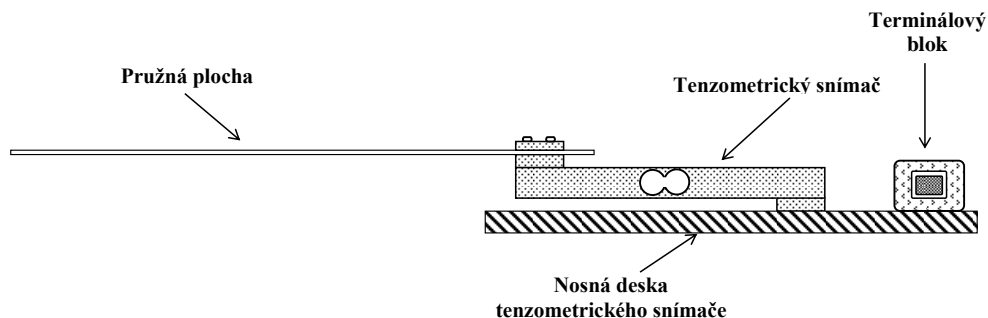
K propojení jednotlivých tenzometrů do několika variant zapojení byl na základní montážní desce (mimo plastovou skříň) instalován reléový modul, k jehož připojovacím svorkám (kontaktům relé) byly připojeny vodiče od jednotlivých samostatných fóliových tenzometrů. Na základovou desku byla instalována zásuvka 230V pro napájecí zdroj 12V, který slouží k napájení pomocné jednodeskové řídicí jednotky a napájení pomocných relé. K základové montážní desce byl přišroubován terminálový blok a k němu byly přes řízený reléový modul připojeny vodiče od vyrobeného tenzometrického snímače.

6.4 Kód jednodeskového mikropočítače Arduino

Arduino v této měřicí úloze řídí teplotu. Teplota je, na základě hodnoty požadované teploty, regulována dvouhodnotově. V případě přečtení nové hodnoty požadované teploty, se musí v kódu tato hodnota převést nejprve na data. Poté se přečte hodnota z teplotního čidla, kterážto se nejprve porovnává s hodnotou požadované teploty a na základě tohoto porovnání se spouští, nebo vypíná ohřev. Nakonec se hodnota z teplotního čidla odesílá po sériové lince, ze které se hodnota teploty přenáší do vizualizace. Dále Arduino řídí reléový modul, který přepíná zapojení tenzometrického můstku.

7 Přípravek pro měření rychlých dějů

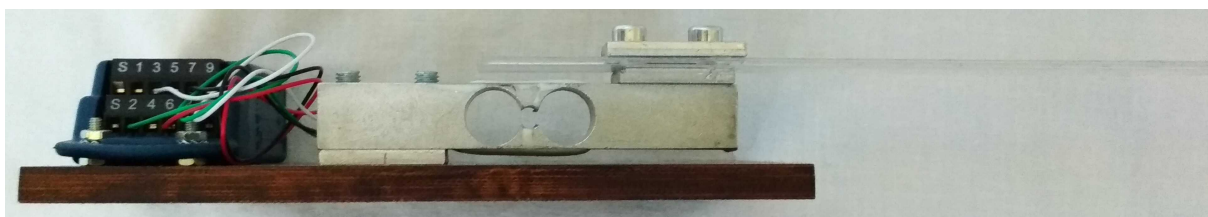
Tato část měřicí úlohy se zabývá měřením rychlých dějů pomocí tenzometrů. Mezi tyto děje patří například kmitání.



Obrázek 21: Návrh váhy pro měření rychlého děje

7.1 Návrh úlohy

Jako rychlý děj změny mechanického namáhání byly zvoleny vibrace. Váha je tvořena spodní deskou, která je pomocí svorky pevně uchycena k podložce. Na této desce je upevněn deformační tenzometrický snímač zatížení, ke kterému je připevněn kmitající mechanický element. Kmitající element je zde ve formě pružné plastové destičky. K vybuzení kmitů je potřeba ručního zásahu. Je potřeba prohnout tenkou destičku a následně ji pustit. Tímto dojde ke krátkému přechodovému ději, který je pomocí měřicí aplikace zaznamenán. Jak tento návrh vypadá, lze vidět na obrázku 21.



Obrázek 22: Váha pro měření rychlého děje

7.2 Postup výroby přípravku

Z pertinaxu byla vyřezána nosná základová deska tenzometrického snímače, ke které byl šroubovými spoji přes vymezovací hliníkovou podložku obdélníkového tvaru připevněn deformační

člen originálního kompletního tenzometrického snímače. Na tento originální tenzometrický snímač byl šroubově připevněn pružný plastový díl, který slouží jako pružná plocha k ručnímu simulování vibrací vytvořením kmitů přenášejících na tenzometrický snímač. K základové desce byl šroubově připevněn terminálový blok a připojeny jednotlivé vodiče od originálního kompletního tenzometrického snímače. Jak tato váha vypadá, lze vidět na obrázku 22.

8 Měření dlouhodobého konstantního zatížení tenzometru

Tato část měřicí úlohy se zabývá vznikem chyby při dlouhém konstantním zatížení. Při konstantní hodnotě závaží na váze a konstantním vlivem okolního prostředí dochází k postupnému klesání hodnoty měřené tenzometrickou váhou. Tento pokles je závislý na čase. Tomuto jevu se říká tečení tenzometru. Rychlost poklesu měřené hodnoty závisí na kvalitě použitého tenzometrického senzoru.

8.1 Návrh úlohy

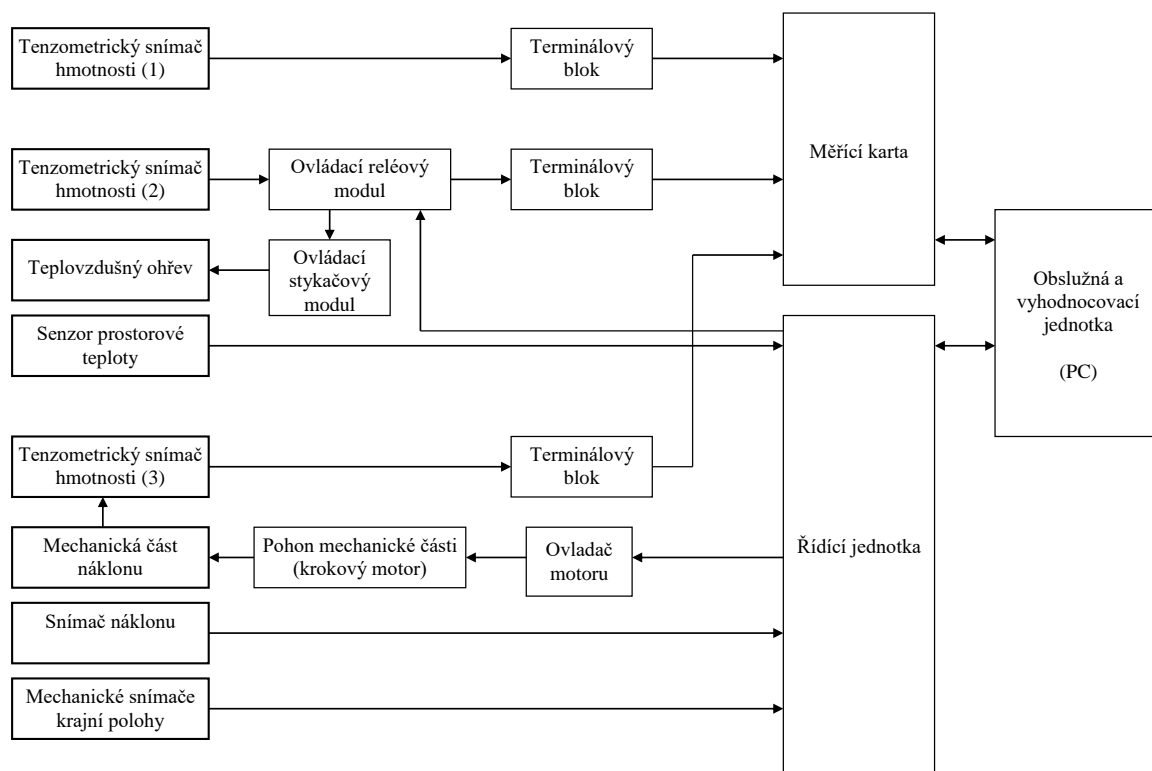
Pro tuto úlohu nebylo nutno vytvářet žádný speciální přípravek. Z důvodu ušetření měřících kanálů bylo rozhodnuto, že se tečení tenzometrů bude měřit na váze s měnitelným náklonem. Aby se do měření nezanášela další chyba, tak se musí před zahájením měření váha nastavit do vodorovné pozice. U této váhy je použit tenzometrický senzor, pro který výrobce uvádí pokles měřené hodnoty o 0.05% za pět minut. U nejpřesnějších snímačů zatížení je pokles o 0,01% za 30 minut a u kvalitních snímačů je to o 0,02% za stejný časový úsek. Z toho vyplývá, že je použitý tenzometrický snímač vhodný pro demonstraci tečení z důvodu menší časové prodlevy.

V případě potřeby je zde možnost váhu s měnitelným náklonem vypojit z měřicí karty a na uvolněný měřicí kanál připojit jinou tenzometrickou váhu. V tomto případě je potřeba se přihlásit do servisního módu, popsaného v další části práce, a změnit nastavení škálování. V případě změny váhy za jinou, než zmiňovanou v této práci, je potřeba porovnat výchozí nastavení napájení tenzometrického můstku a výrobcem doporučené pracovní napětí. V případě, že se doporučené napětí liší, tak je potřeba ho v servisním módu změnit pro všechny měřicí kanály, jelikož měřicí karta neumožňuje mít na různých měřících kanálech různé napájení tenzometrického můstku.

9 Zapojení komponent měřících úloh

Tenzometrické snímače zatížení jsou přes terminálové bloky napojeny do měřící karty NI-9237. Jeden z těchto snímačů je do terminálového bloku zapojen přes ovládací reléový modul, kterým se přepíná zapojení tenzometrického můstku. Hodnoty z měřící karty jsou přes port USB předávány do počítače, kde dochází k jejich zpracování v měřící aplikaci vytvořené ve vývojovém prostředí LabVIEW. Podrobněji jsou měřící karta a propojení s PC popsány v dalších kapitolách.

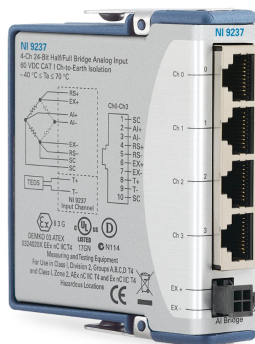
Ovládací reléový modul, teplovzdušný ohřev, senzor teploty, krokový motor, snímač náklonu a koncové spínače jsou napojeni na řídicí jednotku tvořenou jednodeskovým mikropočítačem Arduino. Tato řídicí jednotka je napojena na měřící aplikaci v počítači. Do této aplikace jsou odesílány hodnoty teploty a náklonu, a zároveň se zde z měřící aplikace přijímá hodnota požadované teploty, požadovaný stav reléového modulu a instrukce k otočení krokového motoru. Na obrázku 23 je blokové schéma tohoto zapojení.



Obrázek 23: Blokové schéma zapojení

10 Měřicí karta

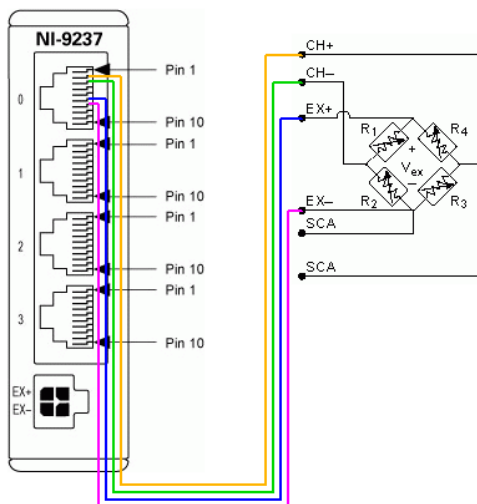
Pro získávání dat z tenzometrických snímačů je použita měřicí karta NI-9237 C Series Strain/Bridge Input Module (Obrázek 24). Tato karta obsahuje čtyři kanály a je vhodná pro měření s tenzometry.



Obrázek 24: Měřicí karta [11]

10.1 Vlastnosti karty

Specifikaci karty lze nalézt v tabulce 1. Tato karta se hodí pro měření celých a polovičních tenzometrických můstků, jelikož interně obsahuje odpory pro vyvážení můstků. Další její výhodou je, že každý její kanál má svůj vlastní A/D převodník, tudíž není vzorkovací frekvence omezená multiplexerem. Vzorkovací frekvence karty je od 1612,9 Hz do 50000 Hz. Z důvodu rychlého vzorkování je tato karta vhodná pro měření rychlých změn na výstupu tenzometrického můstku. Antialiasingový filtr si karta sama nastavuje podle zvolené vzorkovací frekvence.



Obrázek 25: Propojení karty s váhou pro plný můstek

Tabulka 1: Specifikace měřicí karty NI-9237 [12]

| Specifikace | |
|-------------------------------------|--|
| Počet kanálů | 4 |
| Zapojení můstku: | |
| Celý a poloviční můstek | Interní |
| Čtvrt můstek | Externí |
| Rozlišení A/D převodníku | 24 bitů |
| Typ A/D převodníku | Delta-sigma |
| Vzorkovací mód | Simultánní |
| Rychlost přenosu dat | $\frac{50.000kS/s}{n}, n = 1, 2, \dots, 31.$ |
| Hlavní časová základna (interní): | |
| Frekvence | 12.8 MHz |
| Přesnost | ± 100 ppm max |
| Nominální plný rozsah | ± 25 mV/V |
| Škálovací koeficient | 2.9802 nV/V per LSB |
| Nadpětová ochrana mezi dvěma kanály | ± 30 V |

10.2 Propojení tenzometrické váhy s kartou

Snadnou připojitelnost tenzometrických můstků ke kartě zajišťují čtyři RJ50 konektory na straně DAQ karty a terminálové bloky NI 9949 na straně tenzometrické váhy. Karta a terminálové bloky jsou propojeny kabelem s konektorem RJ50 na obou koncích. Na obrázku 25 lze vidět, jakým způsobem se propojují vývody můstkového zapojení tenzometrické váhy s piny konektoru RJ50.

10.3 Připojení měřicí karty k PC

Pro připojení měřicí karty k PC se používá šasi cDAQ-9171 (Obrázek 26). Do tohoto modulu je zasunuta měřicí karta. Tento modul je designovaný pro menší měření. Velkou výhodou tohoto modulu je jeho snadné připojení k PC přes USB umožňující plug-and-play. Modul kontroluje časování, synchronizaci a přenos dat mezi vstupně výstupním modulem a externím zařízením.



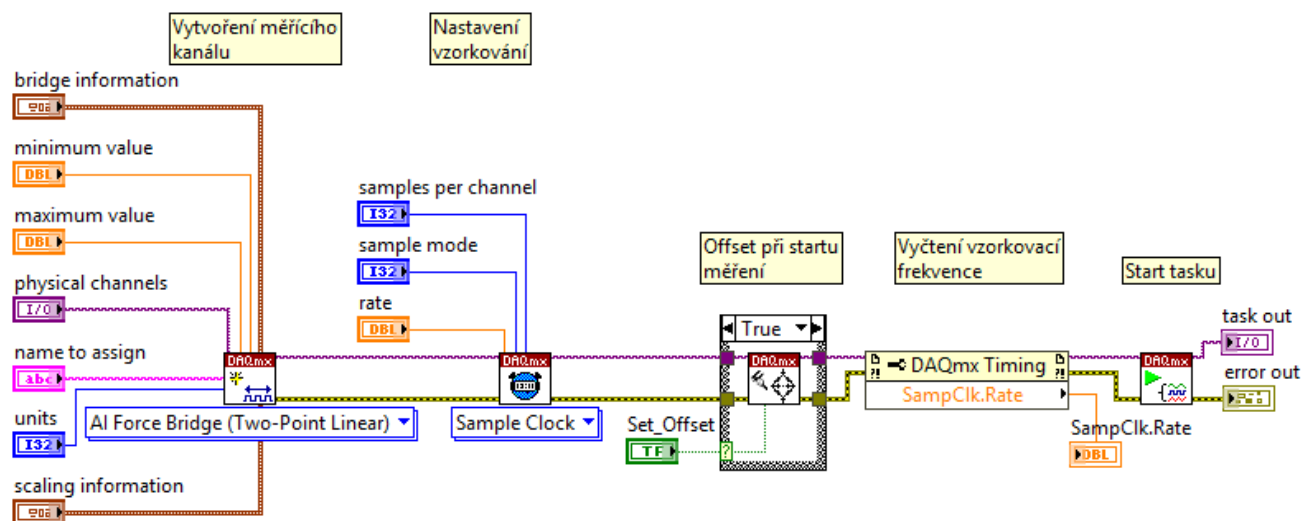
Obrázek 26: Šasi cDAQ-9171 [13]

11 Sběr dat - DAQ

Sběr dat probíhá pomocí knihovních funkcí obsažených v subpaletě NI-DAQmx. Jedná se o digitální zpracování signálu. Ve všech měřicích úlohách jsou tímto způsobem odebírána data z měřicí karty.

11.1 Konfigurace DAQmx

Před začátkem sběru dat z DAQ karty je zapotřebí nejprve vytvořit novou úlohu pomocí NI-DAQmx. Pomocí funkcí obsažených v subpaletě NI-DAQmx se provede konfigurace kanálů. Pomocí funkce "DAQmx Create Virtual Channel", ve které se nastaví parametry měřicího kanálu. V mém případě se funkci přiřadí, že se měří síla působící na můstek, rozsah hodnot, nastavení můstku, kanál a další.



Obrázek 27: SubVI pro vytvoření a nastavení měřicích kanálů

Task je přiveden do funkce "DAQmx Timing", ve které se task rozšíří o další parametry, mezi něž patří údaj o vzorkovací frekvenci, počet vzorků na kanál a informace, jakým způsobem bude měřeno. V této práci je zvoleno kontinuální čtení dat. Už v této části programu dochází, pomocí funkce "DAQmx Perform Bridge Offset Nulling Calibration", ke kompenzaci aditivní chyby. Jakmile proběhnou všechny funkce v řetězci v pořádku, pak dojde, pomocí funkce "DAQmx Start Task", k odstartování úlohy.

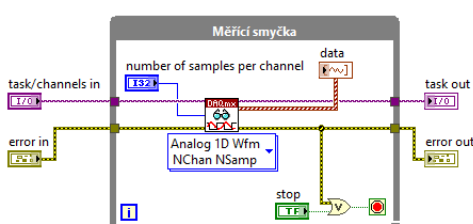
Na obrázku 27 je zobrazeno, jak vypadá konfigurace pro jeden kanál. Jelikož je potřeba měřit na třech měřicích kanálech, tak je v měřicí aplikaci tato konfigurace rozšířená o další kanály. Pro potřeby měřicích úloh byla zvolena vzorkovací frekvence 5 kHz a délka časového okna 100 vzorků. Pomocí rovnice 4 bylo vypočteno, že délka časového okna a zpoždění smyčky je 20 ms.

$$N \frac{1}{f_{vz}} = 100 \cdot \frac{1}{5000} = 20ms \quad (4)$$

Vztah pro výpočet délky časového okna, kdy N je počet vzorků a f_{vz} vzorkovací frekvence.

11.2 Čtení dat přes DAQmx

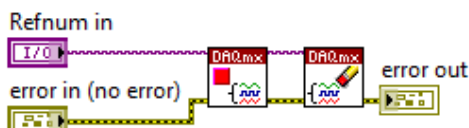
Čtení dat probíhá v měřicí smyčce (Obrázek 28) a je umožněno funkcí "DAQmx Read". Výpočtem 4 bylo zjištěno, že ke čtení dat dochází co 20 ms. Přčtená data jsou ve formě 1D pole datového typu Waveform. Čtení probíhá tak dlouho, dokud nedojde k zastavení měřicí smyčky, zásahem na čelním panelu, a nebo chybou při sběru dat.



Obrázek 28: Zjednodušená měřicí smyčka

11.3 Ukončení DAQmx

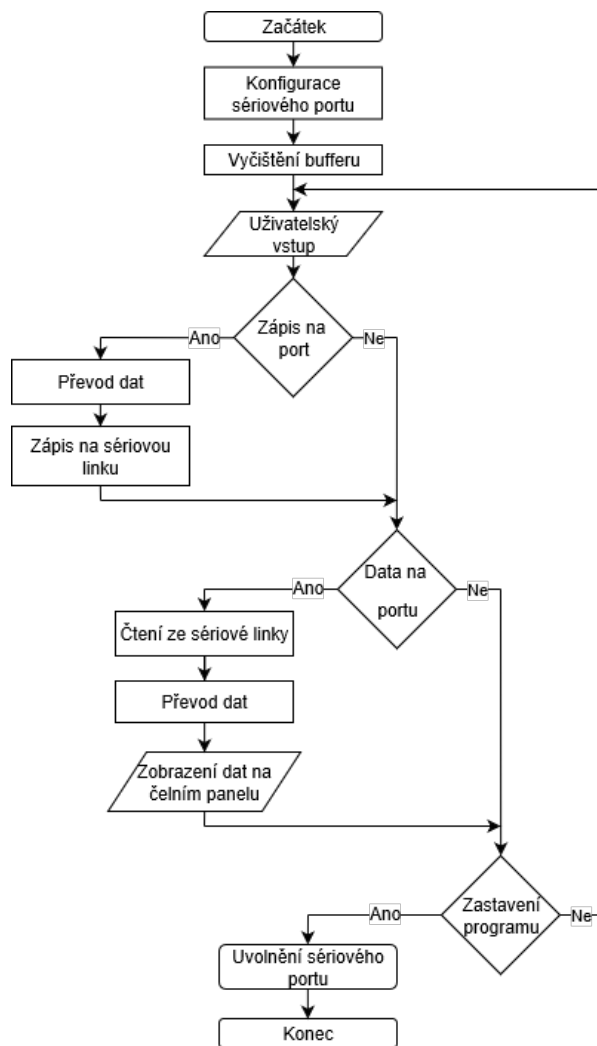
Jakmile už není potřeba na kanálu měřit, například při ukončování aplikace, tak se vykoná funkce "DAQmx Stop Task", která ukončí úlohu a další funkce "DAQmx Clear Task", která kanál uvolní. Obsah SubVI, které se o toto v programu stará je na obrázku 29.



Obrázek 29: SubVI pro zastavení a uvolnění kanálů

12 Komunikace LabVIEW s platformou Arduino

Pro potřeby měřicí úlohy je nutné mít k dispozici více vstupů a výstupů, než nabízí měřicí karta. Z tohoto důvodu, dostupnosti periférií a nízké ceně, byla pro tyto potřeby vybrána platforma Arduino, a jelikož je tato práce zaměřena hlavně na práci ve vývojovém prostředí LabVIEW, tak je Arduino napojeno po sériové lince do PC, ve kterém komunikuje s vizualizací vytvořenou v LabVIEW. Pro sériovou komunikaci je využito VISA driveru. Blokový diagram algoritmu starajícího se o sériovou komunikaci je na obrázku 30.



Obrázek 30: Blokový diagram komunikace po sériové lince

12.1 Zahájení a ukončení sériové komunikace

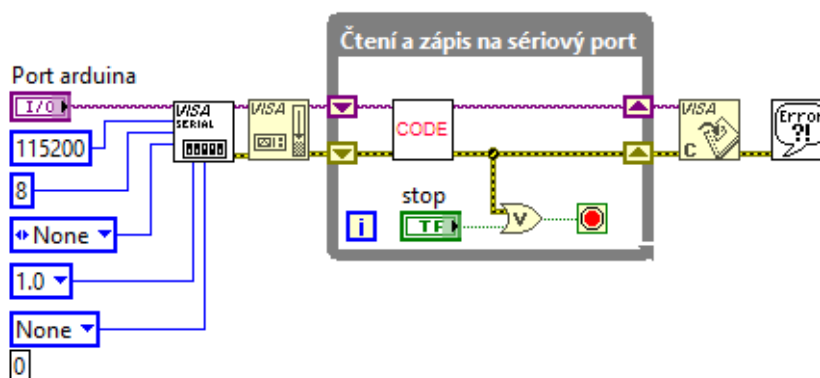
Komunikaci s Arduinem zajišťuje kód, obsažený ve while smyčce. Před zahájením běhu této smyčky je nejdříve nakonfigurovaný sériový port. Na čelním panelu uživatel nastaví, podle toho

kam zapojil Arduino, na kterém portu bude komunikace probíhat. Zbytek konfigurace je získán z konstant v blokovém diagramu. Rychlost komunikace je zvolena 115200 baudů a bez zásahu v blokovém diagramu ji nelze měnit. Konfiguraci zajišťuje funkce "VISA Configure Serial Port VI" v blokovém diagramu.

Jakmile konfigurace v pořádku proběhne, tak se reference na sériový port přesune do funkce "VISA Flush I/O Buffer", která vyčistí buffer. Poté dojde ke vstupu do while smyčky, kde probíhá čtení a zápis na sériovou linku. Jakmile na čelním panelu dojde ke stisku tlačítka stop, nebo dojde k chybě, běh smyčky se ukončí.

Jakmile se smyčka ukončí, proběhne funkce "VISA Close Function", která korektně ukončí sériovou komunikaci. V případě, že se vyskytla nějaká chyba, tak uživateli vyskočí okno s popisem chyby.

Konfigurace sériového portu, vyčištění bufferu, while smyčku a ukončení komunikace lze vidět zjednodušeně na obrázku 31.



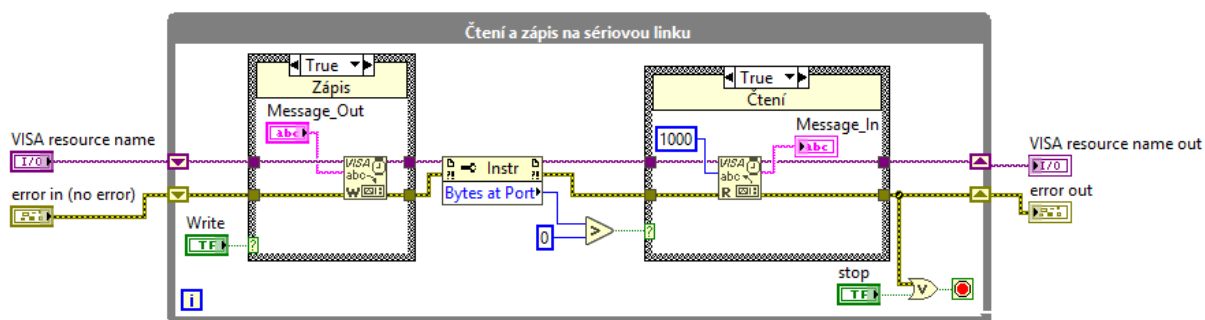
Obrázek 31: Zahájení a ukončení komunikace po sériové lince

12.2 Zápis na sériovou linku

Zápis na sériovou linku probíhá ve while smyčce (Obrázek 32) určené pro čtení a zápis na sériovou linku. Tato smyčka obsahuje dvě case struktury, z nichž jedna slouží pro zápis. Jakmile na "case selector" přijde hodnota TRUE, dojde k odeslání zprávy. Zpráva je odeslána pomocí funkce "VISA Write Function". Na vstup této funkce je přivedena reference na sériový port a zpráva, datového typu string, kterou chceme odeslat.

12.3 Čtení ze sériové linky v LabVIEW

Čtení dat ze sériové linky probíhá ve stejné smyčce while (Obrázek 32), jako zápis na sériovou linku. Jakmile se provede case struktura sloužící pro zápis, tak se pomocí property node zjistí, jestli jsou na sériové lince nějaká data k přečtení. V případě, že komparační blok vyhodnotí, že ano, tak se na case selector case struktury, sloužící pro čtení dat ze sériové linky, přivede hodnota



Obrázek 32: Smyčka pro čtení a zápis na sériovou linku

TRUE a dojde k přečtení dat. Data z Arduina přijímány ve formě datového typu string, kdy jsou textové řetězce, nesoucí údaje, od sebe odděleny oddělovacím znakem. Jako oddělovací znak byl použit středník.

13 Komunikace Arduina s aplikací v LabVIEW

Pro komunikaci s PC nebo jinými zařízeními má Arduino sériový port. Arduino a PC použité v úloze, jsou propojeny USB kabelem, kdy na straně PC je USB-A konektor a na straně Arduina USB-B konektor.

Sériová komunikace přes sériový port je realizována pomocí sady příkazů existujících k tomuto účelu. Při spuštění programu je potřeba, před započítím hlavní smyčky, nastavit sériovou komunikaci tak, jako ve výpisu kódu 1. Tak jako v LabVIEW, tak i v Arduinu je zvolena rychlost 115200 baudů.

```
Serial.begin(115200);
```

Výpis 1: Zahájení sériové komunikace v Arduinu

13.1 Čtení ze sériové linky v Arduinu

V Arduinu probíhá čtení zprávy pomocí dvou příkazů, kdy jedním se zjišťuje jestli jsou na sériové komunikaci nějaká data a pokud ano, tak se dalším příkazem tato data přečtou a uloží do proměnné. Jak je kód zapsaný, lze vidět ve výpisu kódu 2.

```
if (Serial.available() > 0)
{
    prijato = Serial.read();
}
```

Výpis 2: Čtení ze sériové linky v Arduinu

13.2 Zápis na sériovou linku v Arduinu

Zápis na sériovou linku probíhá v Arduinu pomocí jednoho příkazu. Jelikož je nutné posílat více zpráv najednou, tak je tohoto příkazu využito vícekrát s tím, že se mezi odesílané textové řetězce musí vložit oddělovací znak, aby se mohly zprávy v LabVIEW oddělit. Jak je kód zapsaný, lze vidět ve výpisu kódu 3.

```
Serial.print(teplota);  
Serial.print("~");  
Serial.print(String(uhel));  
Serial.print("~");  
Serial.println(String(mustek));
```

Výpis 3: Zápis na sériovou linku v Arduinu

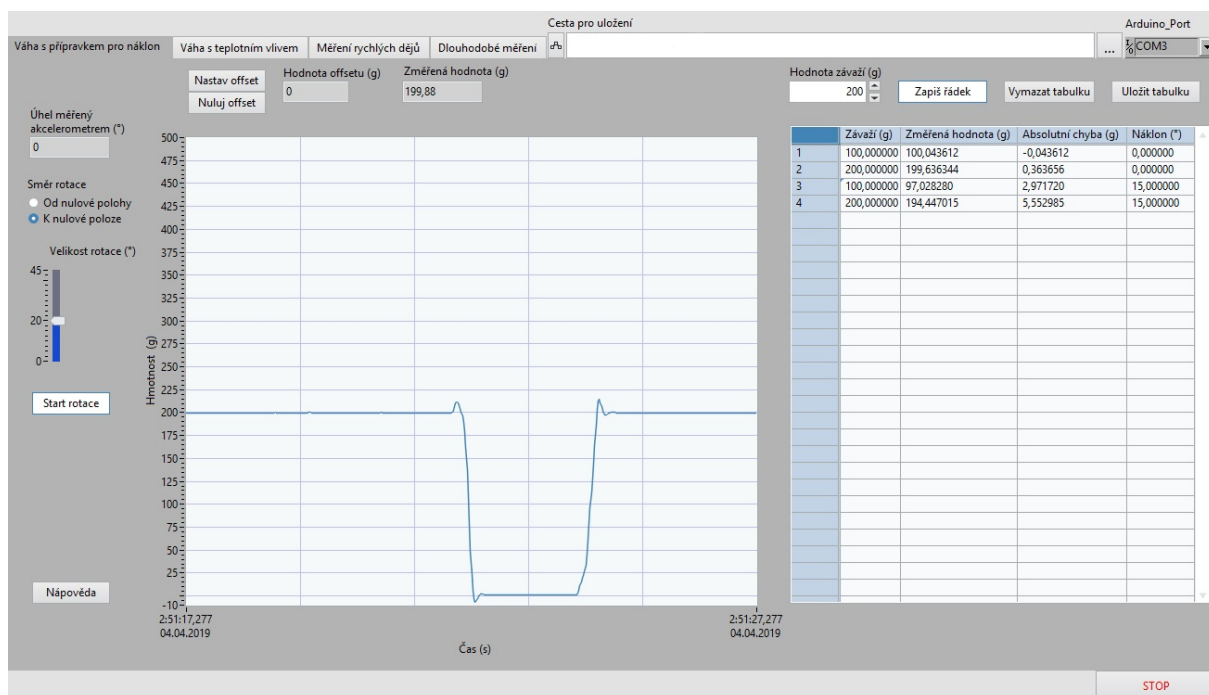
14 Vizualizace dat

V této kapitole je popsána vizualizace měřících úloh. Pro všechny měřící úlohy je vytvořená jedna vizualizace. Mezi těmito úlohami se na čelním panelu přepíná pomocí záložek. Po přepnutí do jiné záložky se zobrazí specifické prvky čelního panelu pro danou úlohu. Trvale jsou na čelním panelu zobrazeny přihlašovací formulář pro přihlášení do servisního módu, stop tlačítko pro zastavení aplikace, prvek pro výběr sériového portu, ke kterému je připojena řídicí jednotka a ovládací prvek pro výběr složky, kam se budou ukládat data.

14.1 Čelní panel měřící úlohy s měnitelným náklonem váhy

Tento čelní panel (Obrázek 33) slouží k obsluze váhy s měnitelným náklonem. Hodnoty hmotnosti naměřené tenzometrickou váhou se zobrazují do grafu. V grafu je zobrazeno posledních deset sekund záznamu. Nad tímto grafem jsou dvě tlačítka a dva indikátory. Jeden indikátor zobrazuje aktuální hodnotu hmotnosti a druhý indikátor zobrazuje hodnotu uživatelem nastaveného offsetu. Jakmile uživatel stiskne tlačítko "Nastav offset", tak se jako offset nastaví aktuální hodnota hmotnosti a ta se bude od nových měřených hodnot odečítat. V případě, že chce uživatel offset zrušit, tak je zde tlačítko "Nuluj offset".

Na levé straně je indikátor, který zobrazuje aktuální úhel náklonu váhy. Jakmile chce uživatel úhel natočení váhy změnit, tak na čelním panelu určí směr a velikost rotace a stiskne tlačítko



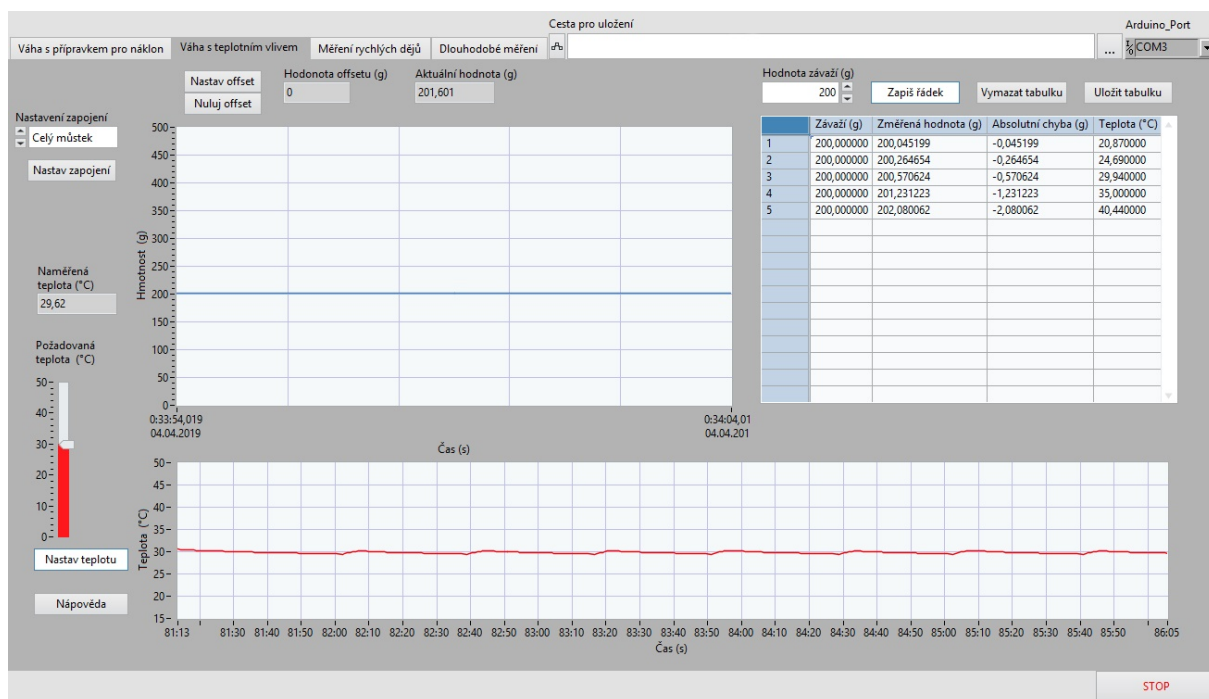
Obrázek 33: Čelní panel měřící úlohy s měnitelným náklonem váhy

"Start rotace". Poté se přes sériovou linku údaj o natočení přenesse do řídicí jednotky, která podle zadaných hodnot otočí krokovým motorem.

Hodnoty z váhy lze průběžně ukládat do tabulky, kdy se při stisku tlačítka "Zapiš řádek" na nový řádek tabulky zapiše uživatelem zadaná hmotnost závaží, změřená hmotnost, absolutní chyba a úhel natočení váhy. Stiskem tlačítka "Vymazat tabulku" se tabulka vymaže a stiskem tlačítka "Uložit" se tabulka uloží.

14.2 Čelní panel úlohy pro demonstraci vlivu teploty

Čelní panel (Obrázek 34) je podobný jako u váhy s měnitelným náklonem. Po levé straně jsou ovládací prvky pro nastavení zapojení tenzometrického můstku na deformačním tělese. Dále je po levé straně indikátor, který zobrazuje aktuální teplotu v boxu, ve kterém je váha umístěna. Tuto teplotu lze měnit ovládacími prvky, posuvníkem pro výběr požadované teploty a tlačítkem "Nastav teplotu", které odešle údaj o požadované teplotě do řídicí jednotky. Součástí čelního panelu je graf, umístěný ve spodní části, který zobrazuje průběh hodnoty teploty v boxu s váhou. Tento graf zobrazuje posledních pět minut naměřeného záznamu teploty. Tabulka je téměř totožná jako u váhy s měnitelným náklonem, ale místo hodnoty náklonu se do tabulky ukládá hodnota aktuální teploty. Graf v horní části a ovládání offsetu jsou taky totožné, jako u předchozího čelního panelu.



Obrázek 34: Čelní panel úlohy pro demonstraci vlivu teploty

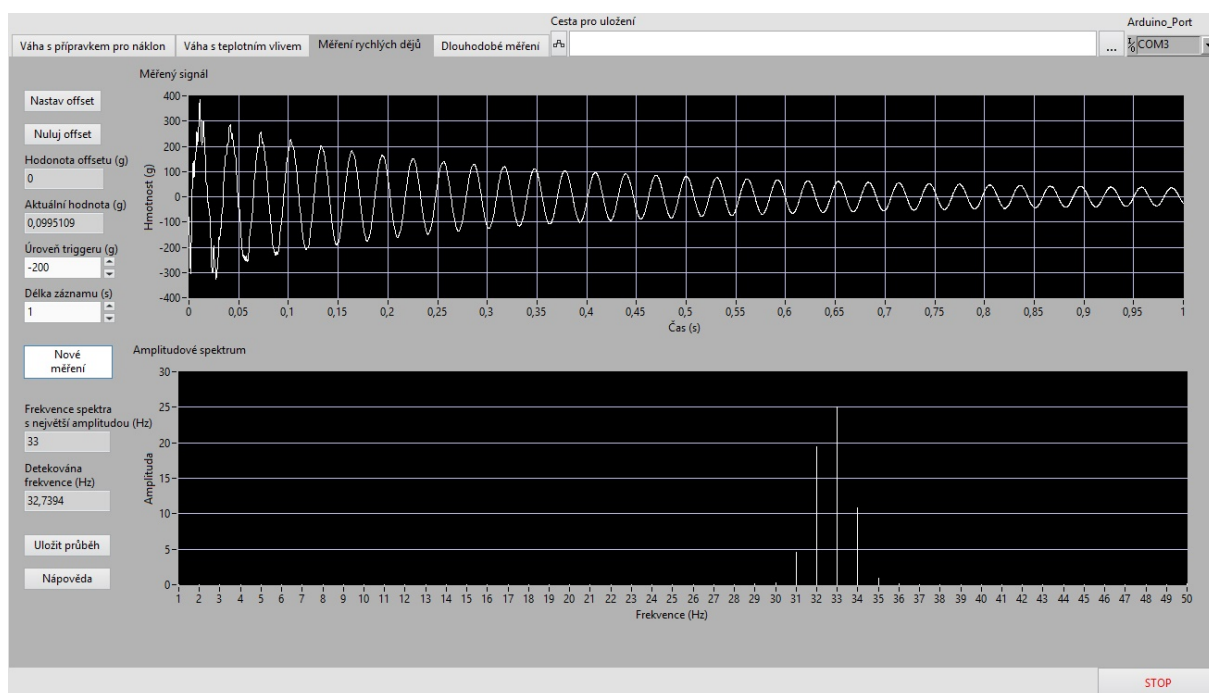
14.3 Čelní panel úlohy pro měření rychlých dějů

Čelní panel (Obrázek 35) obsahuje, tak jako předchozí čelní panely, ovládací prvky pro nastavení offsetu a indikátor zobrazující jeho aktuální hodnotu. Dále jsou na čelním panelu dva důležité ovládací prvky. Prvek pro nastavení úrovně triggeru a prvek pro nastavení délky záznamu hodnot hmotnosti z tenzometrické váhy. Délku záznamu lze zvolit maximálně pět sekund. Je to proto, že délka přechodového děje je kratší. Pokud by bylo v budoucnu potřeba toto omezení změnit, pak to lze udělat jednoduchou úpravou čelního panelu.

Jakmile aktuální hodnota změřené hmotnosti překročí nastavenou úroveň triggeru, tak dojde k zaznamenávání hodnot po dobu nastavenou uživatelem. V případě, že chce uživatel měření opakovat, tak je zde tlačítko "Nové měření", které uvede čelní panel do stavu připraveného na nové měření.

Ve vrchním grafu se zobrazuje naměřený průběh hmotnosti na váze. Velikosti os grafu se nastavují automaticky. Stisknutím tlačítka "Uložit" dojde k uložení hodnot vykreslených v tomto grafu. Ve spodním grafu je zobrazeno amplitudové spektrum naměřeného signálu.

Po levé straně grafu amplitudového spektra jsou dva indikační prvky, kdy jeden zobrazuje frekvenci spektra s největší amplitudou a druhý zobrazuje detekovanou frekvenci změřeného signálu.

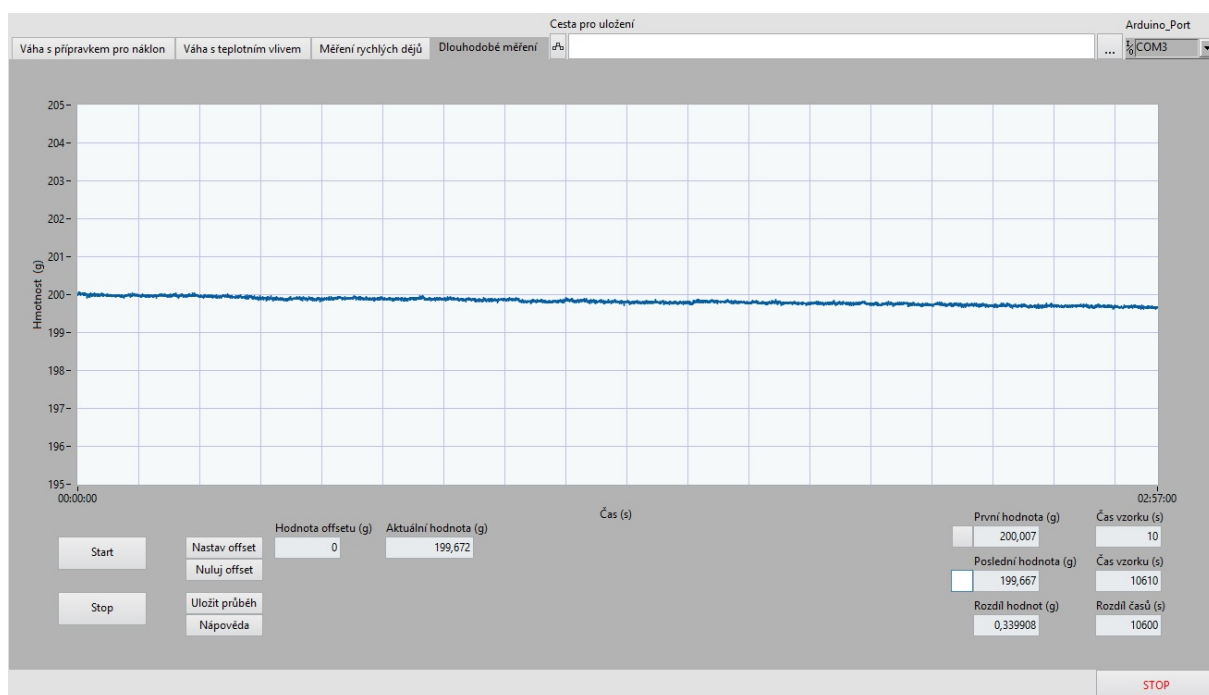


Obrázek 35: Čelní panel úlohy pro měření rychlých dějů

14.4 Čelní panel úlohy pro měření dlouhodobého konstantního zatížení tenzometru

Čelní panel (Obrázek 36) je navržen tak, aby se měření dalo spustit a zastavit. Po levé straně je dvojice tlačítek "Start" a "Stop". Napravo od těchto tlačítek je ovládání offsetu shodné s předchozími čelními panely.

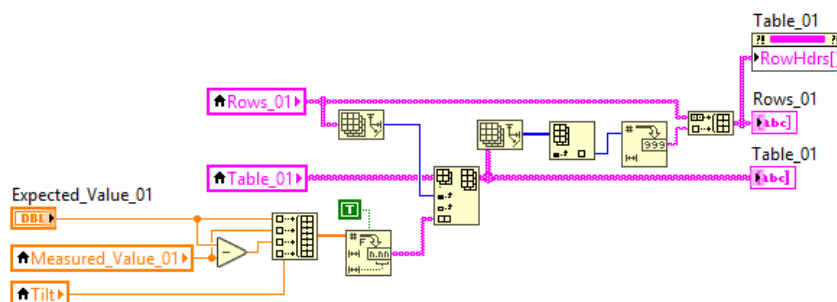
Při stisku tlačítka "Start" se spustí zaznamenávání hodnot. Jakmile se měření spustí, tak do grafu každou sekundu přibude aktuální hodnota hmotnosti. Hodnoty na časové ose mají tvar HH:MM:SS. Velikost časové osy grafu se přizpůsobuje v závislosti na počtu vzorků. V průběhu měření lze pomocí dvou tlačítek, která jsou umístěna v pravé části čelního panelu, zaznamenat dvě hodnoty hmotnosti, kdy při stisku tlačítka se uloží čas posledního naměřeného vzorku a jeho hodnota. Tyto hodnoty jsou zobrazeny v indikátorech vedle tlačítek. Pod těmito indikátory se zobrazuje rozdíl hmotností dvou zaznamenaných hodnot a doba v sekundách mezi jejich zaznamenáním. Stiskem tlačítka "Stop" se měření zastaví. V případě, že se v zastaveném stavu měření opět spustí, tak dojde k vymazání hodnot z grafu a do grafu budou zaznamenány hodnoty nové. Na čelním panelu lze vidět, že po uplynutí necelých tří hodin měřená hodnota klesla o 0,34 g. Toto měření proběhlo na tenzometrickém snímači s váživostí 1 kg.



Obrázek 36: Čelní panel pro dlouhodobé měření

15 Interní struktura aplikace ovládací a vizualizující aplikaci v LabVIEW

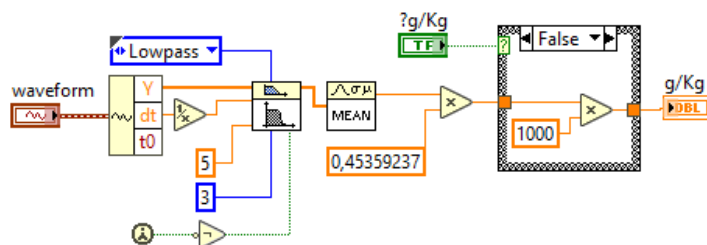
Program v Labview se skládá z několika paralelně běžících smyček. Hlavní smyčka čte a zpracovává hodnoty z DAQ karty. Další ze smyček je vytvořena pro zpracování dat pro dlouhodobé měření. Pak je zde smyčka navrhnutá pro komunikaci přes sériovou linku a je blíže popsána v kapitolách o sériové komunikaci. Poslední ze smyček obsahuje "Event strukturu" a je určena převážně k reagování na uživatelský vstup. Je v ní řešen zápis dat do tabulky (Obrázek 37) a ukládání do souboru. Předávání dat mezi těmito smyčkami je provedeno za pomoci lokálních proměnných.



Obrázek 37: Algoritmus pro zápis dat do tabulky

15.1 Hlavní smyčka

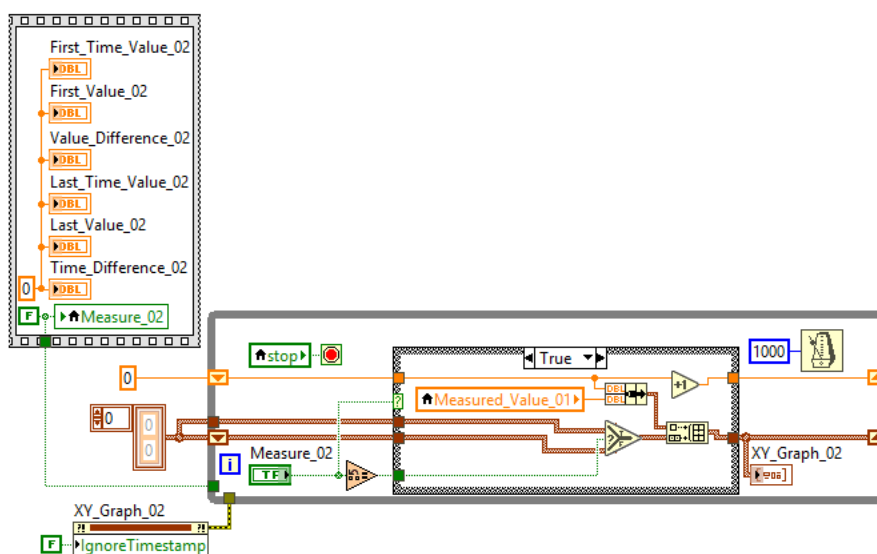
Tato smyčka obsahuje kód pro čtení a zpracování hodnot z tenzometrických vah. Jde ji rozdělit na tři části, část pro úlohu s měnitelným náklonem váhy, část pro úlohu s demonstrací teplotního vlivu a část pro měření rychlých dějů. Pro první dvě části je program shodný. Po vyčtení dat z DAQmx data projdou filtrem typu dolní propust a z naměřených hodnot v časovém okně se udělá průměr. Tím se sníží vliv šumu na měření. Jelikož DAQmx vrací hodnotu v librách, tak je třeba naměřené hodnoty převést na gramy. Tento převod, filtr a průměrování hodnot je zajištěn algoritmem na obrázku 38.



Obrázek 38: Algoritmus pro zpracování hodnot

Jakmile data projdou tímto algoritmem, tak musí ještě projít částí programu pro nastavení offsetu. Offset je neustále odečítaný od naměřených hodnot. Jakmile dojde k příslušné akci na čelním panelu, tak se pomocí "Case struktury" nastaví nový offset. Takto upravené hodnoty se následně postupně ukládají do pole. Jakmile dojde k překročení dovolené velikosti pole, tak se s každým cyklem vymaže nejstarší hodnota v tomto poli. Toto pole se následně zobrazuje do grafu na čelním panelu.

15.2 Smyčka pro dlouhodobé měření



Obrázek 39: Blokový diagram pro dlouhodobé měření

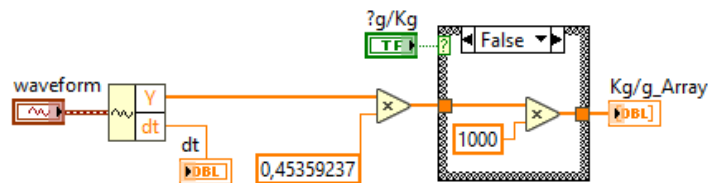
Zpracování dat pro dlouhodobé měření probíhá ve smyčce while. Hodnoty hmotnosti se do této smyčky posílají z hlavní smyčky. Před tím než se smyčka spustí, tak pomocí Flat Sequence struktury a principu "data flow" dojde k inicializaci hodnot. Struktura sloužící k inicializaci a smyčka while, ve které probíhá kumulování hodnot, je na obrázku 39.

Jakmile přijde pokyn od uživatele, který na čelním panelu stiskne tlačítko pro spuštění měření, pak dojde k vymazání hodnot v grafu a poté se začnou ukládat hodnoty nové. S každým cyklem smyčky se do pole uloží aktuální hodnota na váze a čas od spuštění měření. Toto pole se přivádí do XY grafu, který je na čelním panelu.

15.3 Program pro měření rychlých dějů

Program je obsažen v hlavní smyčce. Podobá se zbylím dvěma částem kódů v hlavní smyčce. Aby nebylo nepříznivě ovlivněno měření, tak zde není použit žádný SW filtr, a není zde použito ani průměrování, aby nedošlo ke ztrátě dat. Po vyčtení časového okna z DAQmx dojde k převodu změřené hmotnosti v librách na gramy (Obrázek 40).

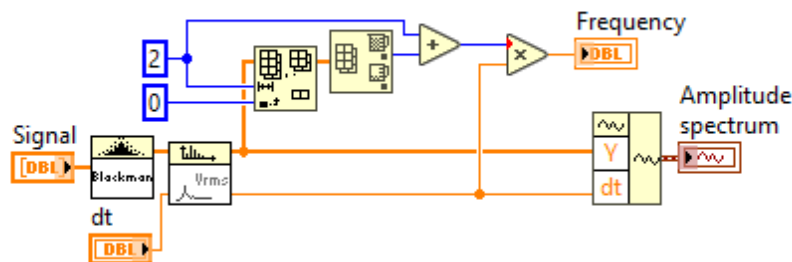
15.3.1 Převod na gramy



Obrázek 40: Podprogram pro převod na gramy

Poté jako v předchozích dvou částech hlavní smyčky dojde k odečtení offsetu. Ukládání do pole neprobíhá trvale, ale pouze v případě, že naměřená hmotnost překročila hodnotu triggeru nastavenou uživatelem na čelním panelu. Ukládání do pole probíhá tak dlouho, dokud neuběhne zvolený čas. Uložené hodnoty se následně zobrazí v grafu na čelním panelu.

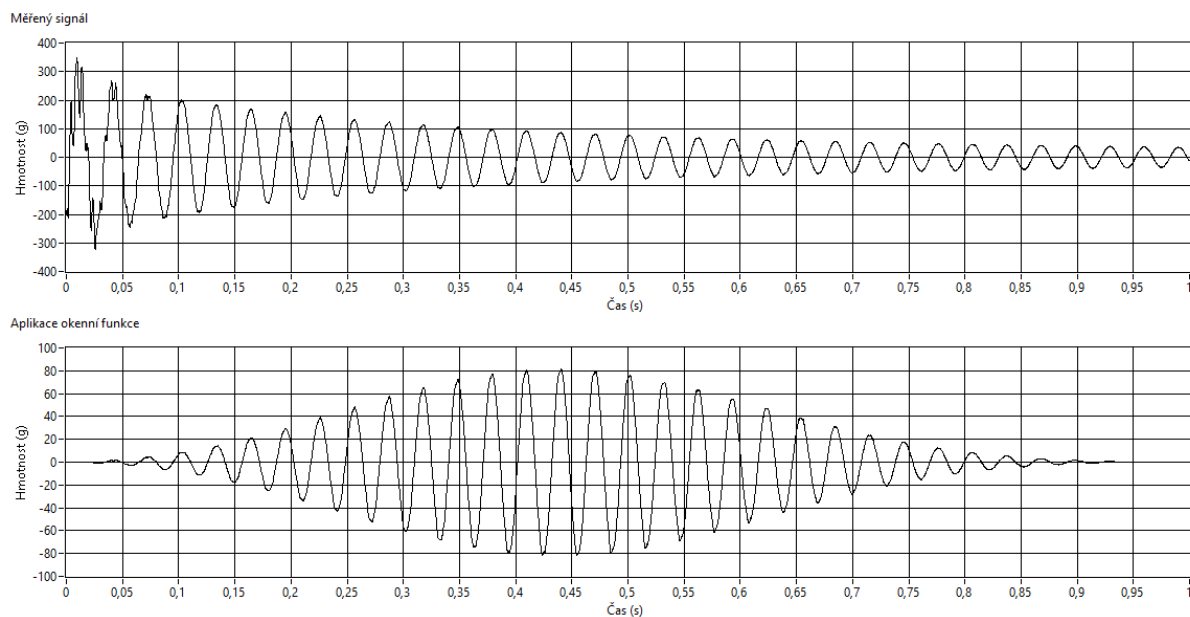
15.3.2 Amplitudové spektrum



Obrázek 41: Algoritmus pro výpočet spektra signálu

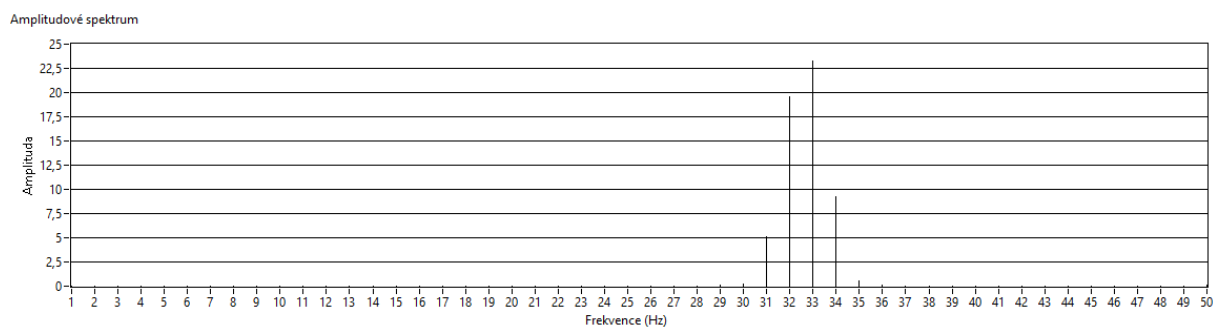
Součástí programu pro měření rychlých dějů je i algoritmus (Obrázek 41) pro výpočet amplitudového spektra. Algoritmus se skládá ze tří částí. Z okenní funkce, výpočtu spektra a z algoritmu pro nalezení frekvence spektra s nejvyšší amplitudou. Zprvce jsou data přivedena do okenní funkce. Na základě testování byla vybrána okenní funkce Blackman.

Této funkce je využito proto, že není naměřen celistvý počet period, který je potřebný pro správný výpočet spektra. Další z důvodů je ztlumení záchvěvů na počátku přechodového děje, které je způsobeno nedokonalým buzením kmitů. Na obrázku 42 je vidět, jak vypadá přechodový děj po průchodu okenní funkcí Blackman. Následně se upravený průběh přivede na vstup funkce "Amplitude and Phase Spectrum VI", na jehož výstupu je vypočteno amplitudové spektrum. To se následně zobrazí v grafu na čelním panelu (Obrázek 43). Zjišťování frekvence probíhá na základě zjišťování největšího prvku v poli amplitudového spektra. Před hledáním maxima



Obrázek 42: Změřený přechodový děj před a po průchodu okenní funkcí

je odstraněno několik prvních hodnot pole, a to proto, aby hledání frekvence neovlivnil možný nenulový offset. Tak jako amplitudové spektrum, tak i zjištěná frekvence se zobrazí na čelním panelu.



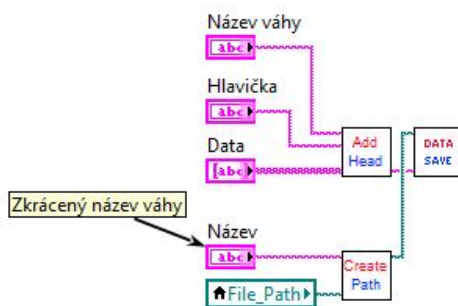
Obrázek 43: Amplitudové spektrum

16 Ukládání dat

Data se ukládají do společného adresáře, který si uživatel nastaví na čelním panelu. U váhy s měnitelným náklonem a váhy s měnitelnou teplotou okolí se ukládá tabulka. U váhy pro měření rychlých dějů a dlouhodobého měření se ukládají naměřené průběhy hmotnosti.

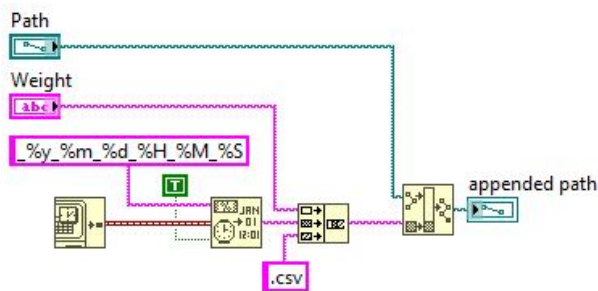
16.1 Ukládání dat ve formátu CSV

CSV je souborový formát, ve kterém se data ukládají jako tabulka a hodnoty jsou odděleny čárkou. Výhodou tohoto formátu je jeho snadná implementace v LabVIEW. Další z výhod je, že novější verze programu Microsoft Excel umí samy rozdělit uložená data do sloupců. To usnadňuje další zpracování dat. V tomto formátu jsou ukládány hodnoty ze všech měřících přípravků.



Obrázek 44: Ukládání do souborového formátu CSV

Ukládání do souboru s příponou .CSV je řešeno třemi podprogramy (Obrázek 44). Na jejich vstupy jsou přivedena data, která se mají uložit, název váhy, text hlavičky pro popis dat, zkrácený název váhy a cesta složky, kam se data uloží.



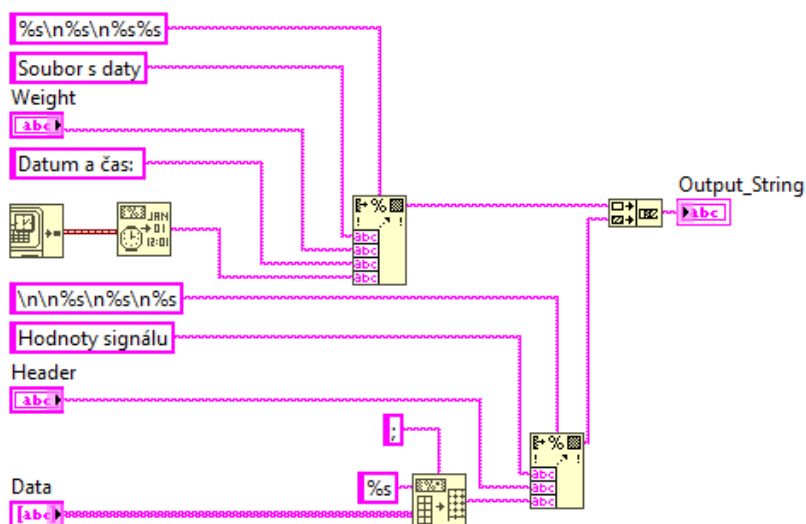
Obrázek 45: Podprogram pro vytvoření názvu souboru

Před uložením je potřeba určit cestu, kam se soubor bude ukládat, a název, pod kterým se soubor uloží. Za tímto účelem je vytvořen podprogram (Obrázek 45). Název se vytvoří ze zkráceného názvu úlohy, pro kterou se data ukládají, a z aktuálního času. Název souboru má poté formát "Název_RR_MM_DD_HH_MM_SS". K datům, která se mají uložit, je pomocí

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| Soubor s daty | |
| Váha pro rychlé děje | |
| Datum a čas: 14.04.2019 18:53:46 | |
| Hodnoty signálu | |
| Čas [s] | Změřená hodnota [g] |
| 0 | -219,914 |
| 0,0002 | -220,107 |
| 0,0004 | -219,706 |
| 0,0006 | -219,529 |

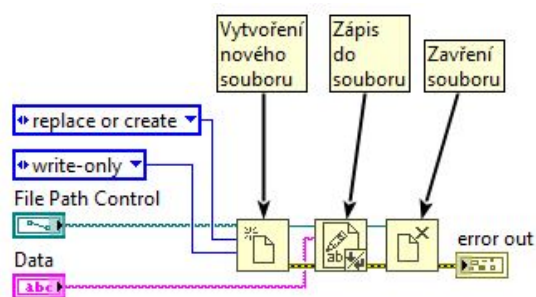
Obrázek 46: Hlavička souboru

podprogramu na obrázku 47 přidána hlavička. Tato hlavička obsahuje údaj, o jakou váhu se jedná, čas uložení a popis hodnot (Obrázek 46).



Obrázek 47: Podprogram pro vytvoření hlavičky souboru

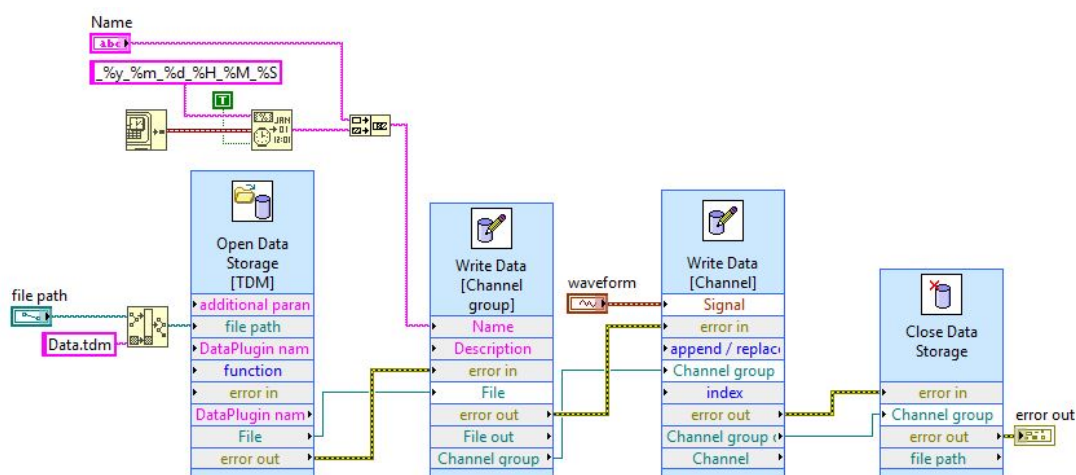
Jakmile jsou data převedena do správného formátu, tak se spustí podprogram na obrázku 48. Do tohoto SubVI je kromě dat, které se mají uložit, přivedena cesta, kam chce uživatel data uložit.



Obrázek 48: Podprogram pro vytvoření souboru a zápis do souboru

16.2 Ukládání dat ve formátu TDM

Jedná se o datový formát, který slouží k ukládání dat v LabVIEW. Do tohoto formátu jsou ukládána data z dlouhodobého měření a měření rychlého děje. Data se ukládají do stejné složky jako při ukládání ve formátu CSV. Při prvním uložení se vytvoří nový soubor, do něhož se uloží data. Při dalším uložení dat už se nový soubor nevytvoří a data se uloží do stejného souboru. V případě, že se soubor otevře v programu Microsoft Excel, pak je každé uložení zobrazeno jako samostatná záložka. V záložce jsou data uložena jako dva sloupce, kdy jeden sloupec obsahuje hodnoty času a druhý hmotnosti. Podprogram určený pro ukládání do tohoto formátu obsahuje čtyři expresní funkce (Obrázek 49). Na vstupy těchto funkcí je přivedena cesta kam se bude ukládat, jméno pod kterým jsou data uložena a data, která se mají uložit.



Obrázek 49: Ukládání dat ve formátu TDM

17 Přihlašování do servisního režimu


Z důvodu potřeby uvedení váhy do provozuschopného stavu a ladění programu, je potřeba mít na čelním panelu ovládací prvky, které jsou ale při běžném provozu uživateli nepřístupné. Z tohoto důvodu je na čelním panelu přihlašovací formulář (Obrázek 50), do kterého se zapisuje přihlašovací jméno a heslo. Po zapsání přihlašovacích údajů se uživatel přihlásí stiskem tlačítka "přihlásit". Vedle tohoto tlačítka je indikační LED sloužící k indikaci stavu přihlášení.

Jméno

Heslo

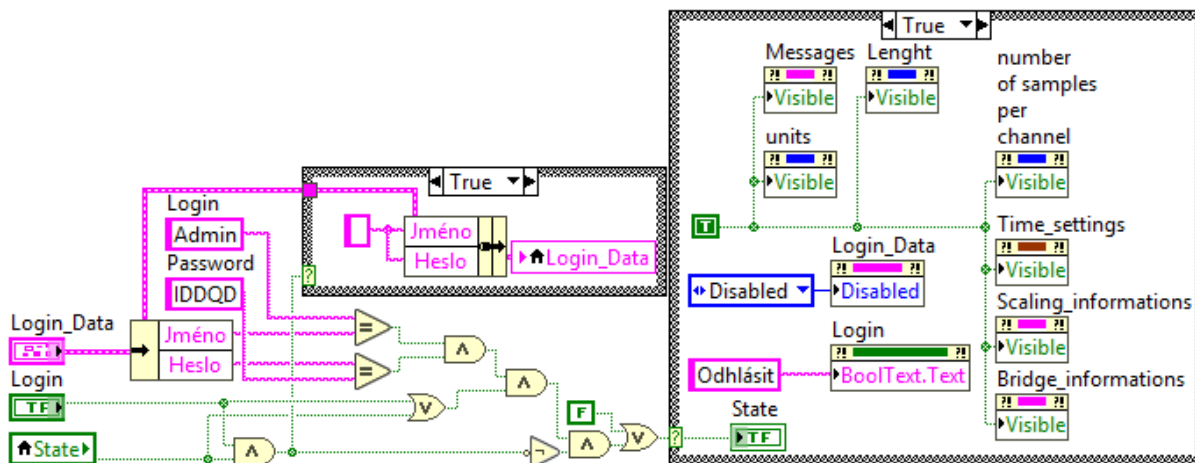
Přihlášen

Odhlásit



Obrázek 50: Přihlašování na čelním panelu

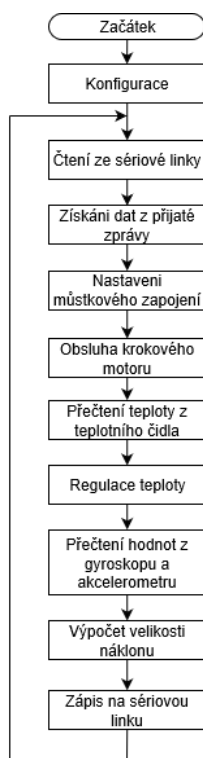
V blokovém diagramu je přihlašování řešeno pomocí event struktury, kdy k události dojde při stisknutí tlačítka "Přihlásit" na čelním panelu. Poté program (Obrázek 51), který obsahuje tuto událost, vyhodnotí, jestli byly zadány správné přihlašovací údaje a v případě, že ano, tak dojde k přihlášení a k zobrazení skrytých servisních prvků čelního panelu. V případě, že dojde k odhlášení, tyto prvky přestanou být viditelné. Při každém novém spuštění programu je uživatel odhlášen.



Obrázek 51: Přihlašování v blokovém diagramu

18 Popis programu spuštěného v Arduinu

Po nahrání programu (Obrázek 52), nebo po resetování Arduina se vykoná funkce "setup". V této funkci dojde k inicializaci vstupů a výstupů Arduina, a k nastavení a zahájení komunikace. Jakmile tato funkce proběhne, tak program přejde do funkce "loop", která běží ve smyčce. Na začátku této funkce dojde, v případě, že jsou na sériové lince data, k přečtení těchto dat. Následně se přijatá data převedou na hodnotu úhlu, požadované teploty, nebo na číslo varianty zapojení tenzometrického můstku. V další části programu se obslouží ovládací reléový modul a krokový motor. Poté se přečte hodnota teploty z teplotního čidla a v závislosti na velikosti hodnoty požadované teploty dojde přes reléový modul k zapnutí, nebo vypnutí topného tělesa a ventilátoru. Následně se přečtou hodnoty z modulu s gyroskopem a akcelerometrem, ze kterých se vypočte úhel náklonu roviny tenzometrické váhy. Na konci funkce dojde k zápisu hodnoty tohoto úhlu, změřené teploty a čísla varianty můstku na sériovou linku.



Obrázek 52: Blokový diagram programu spuštěného v Arduinu

19 Závěr

Předmětem této práce byla tvorba několika měřících úloh pro pracoviště s tenzometry a tvorba SW pro jejich automatizaci s využitím technologie Virtuální instrumentace. V teoretické části je vysvětlen princip tenzometrických snímačů. Je zde vysvětleno, na jakém principu fungují. Jsou popsány varianty zapojení do tenzometrického můstku. Dále byly popsány negativní vlivy, které ovlivňují výsledky měření. V druhé části teoretického rozboru je popsáno vývojové prostředí LabVIEW, ve kterém byla vytvořena měřící aplikace pro obsluhu měřících úloh. Je zde zjednodušeně popsáno, jak se v tomto vývojovém prostředí pracuje.

Praktická část práce popisuje návrh a výrobu měřících přípravků pro měřící úlohy a tvorbu obslužného SW k těmto přípravkům. Je zde popsán návrh a výroba měřících úloh, a problémy, které se v průběhu výroby vyskytly. Dvě z těchto měřících úloh potřebují ke svému řízení jednodeskový mikropočítač Arduino. Pro toto řízení bylo nutné vytvořit program, který je schopen obsluhovat vstupní a výstupní moduly, a dokáže komunikovat s programem v LabVIEW, jenž je spuštěn na obslužném PC. Ke čtení hodnot z tenzometrických přijímačů hmotnosti je použita DAQ karta NI-9237. Data z této karty jsou zpracovávána programem LabVIEW. Data jsou zobrazena na čelním panelu měřící aplikace, kde je uživateli poskytnuta možnost měřená data uložit a pracovat s nimi v jiném SW.

Ke zkvalitnění měření by se mohl v budoucnu vyráběný tenzometrický snímač nahradit tenzometrickým snímačem vyrobeným specializovanou firmou. Pro zlepšení regulace v úloze pro demonstraci vlivu teploty na měření s tenzometry by se současný topný člen mohl nahradit topným členem s měnitelným výkonem a pro urychlení měření by se mohla úloha rozšířit o elektrické chlazení. Obojí by šlo vyřešit použitím peltierových článků pro účely topení a chlazení. Pokud by se současný stav úlohy rozšířil o další DAQ kartu, která by nahradila Arduino, tak by všechny zdrojový mohl být na jednom místě v obslužném programu v LabVIEW. Pro účely úlohy, kde se mění náklon váhy, by bylo vhodnější současný krokový motor nahradit silnějším krokovým motorem s menším krokem.

Literatura

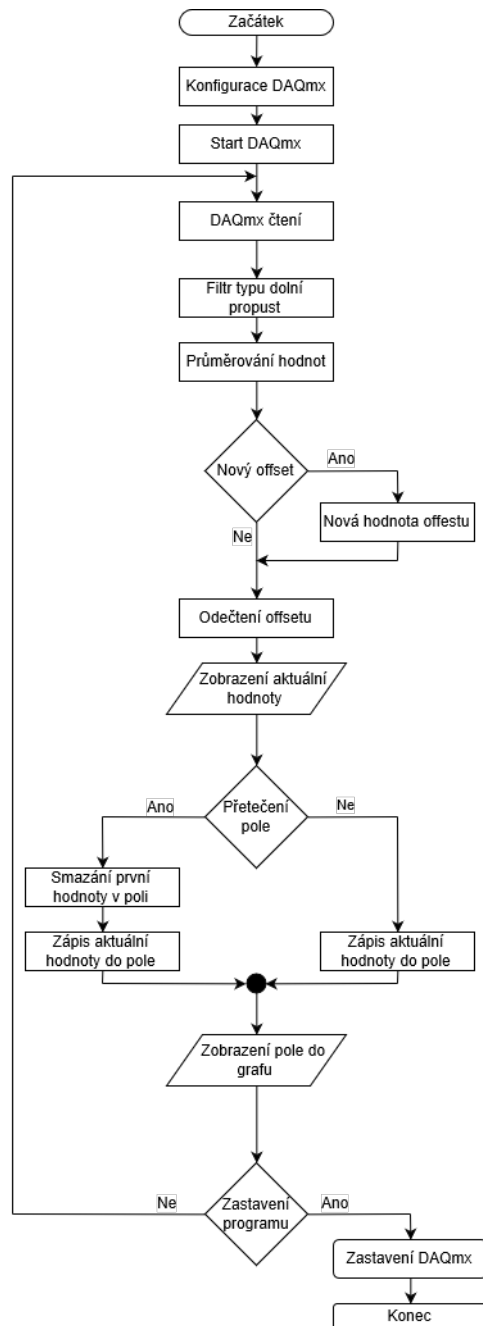
- [1] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřicí obvody*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN isbn80-01-02057-6.
- [2] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Tenzometr* [online]. c2019 [citováno 25. 04. 2019]. Dostupný z WWW: <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Tenzometr&oldid=16852805>>
- [3] VOJÁČEK, Antonín. *Odporové tenzometry - princip, provedení, použití, historie*. Automatizace.HW.cz [online]. Praha: HW server, c1997-2014 [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/foliove-odporove-tenzometry-princip-provedeni-pouziti-historie.html>
- [4] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Hookův zákon* [online]. c2017 [citováno 26. 04. 2019]. Dostupný z WWW: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Hook%C5%AFv_z%C3%A1kon&oldid=15396717>
- [5] *Hookův zákon*. Realisticky.cz [online]. Třeboň: Martin Krynický, c2010 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <http://www.realisticky.cz/ucebnice/02%20Fyzika%20S%C5%A0/02%20Molekulov%C3%A1%20fyzika%20a%20termika/04%20Pevn%C3%A9%20skupenstv%C3%AD/06%20Hookuv%20z%C3%A1kon.pdf>
- [6] HÝBL, Ján. *Tenzometry (Strain gauge)*. Redmine prokyber s.r.o. [online]. Kladno: prokyber, 2016 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://rm.prokyber.cz/projects/zak-vyr/wiki/Sg>
- [7] VOJÁČEK, Antonín. *Polovodičové tenzometry - princip, provedení, použití, historie*. Automatizace.HW.cz [online]. Praha: HW server, c1997-2014 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006111601>
- [8] ČERNOHORSKÝ, Jiří. *Senzory s kovovými tenzometry v technické praxi*. Automa [online]. Ústí nad Labem: Automa – časopis pro automatizační techniku, c2016 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/senzory-s-kovovymi-tenzometry-v-technicke-praxi-2008_04_36970_6543/
- [9] MICHALEC, Libor. *30 let historie Labview*. Vývoj.HW.cz [online]. Praha: HW server, c1997-2014 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/30-let-historie-labview.html>
- [10] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Ilustroval Viktorie VLACHOVÁ. Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [11] *NI-9237*. In: National Instruments [online]. Austin (Texas): National Instruments, c2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <http://www.ni.com/cs-cz/support/model.ni-9237.html>

- [12] *NI USB-9237 User Guide and Specifications*. National Instruments [online]. Austin (Texas): National Instruments, c2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/372306b.pdf>
- [13] *CDAQ-9171*. In: National Instruments [online]. Austin (Texas): National Instruments, c2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <http://www.ni.com/cs-cz/support/model.cdaq-9171.html>

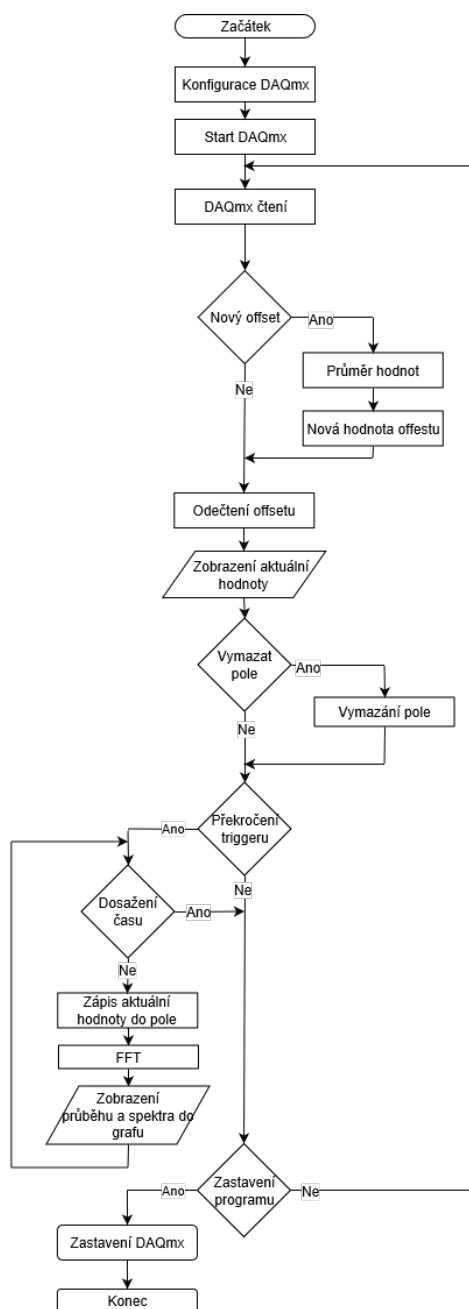
Přílohy

- A Blokový diagram programu hlavní smyčky (1 strana)
- B Blokový diagram programu pro měření rychlých dějů (1 strana)
- C Schéma zapojení topného tělesa s ventilátorem (1 strana)
- D Přehledové schéma zapojení nastavitelného tenzometrického můstku (1 strana)
- E Liniové schéma zapojení nastavitelného tenzometrického můstku (1 strana)
- F Zapojení Arduina a pomocných obvodů (1 strana)
- G Měřicí smyčka v LabVIEW (1 strana)
- H Projekt v LabVIEW (Příloha v IS EDISON)
- I Program v Arduinu (Příloha v IS EDISON)

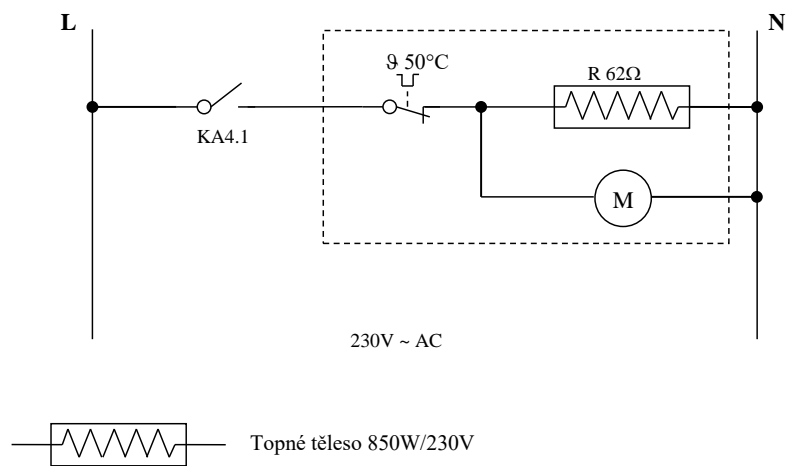
A Blokový diagram hlavní smyčky



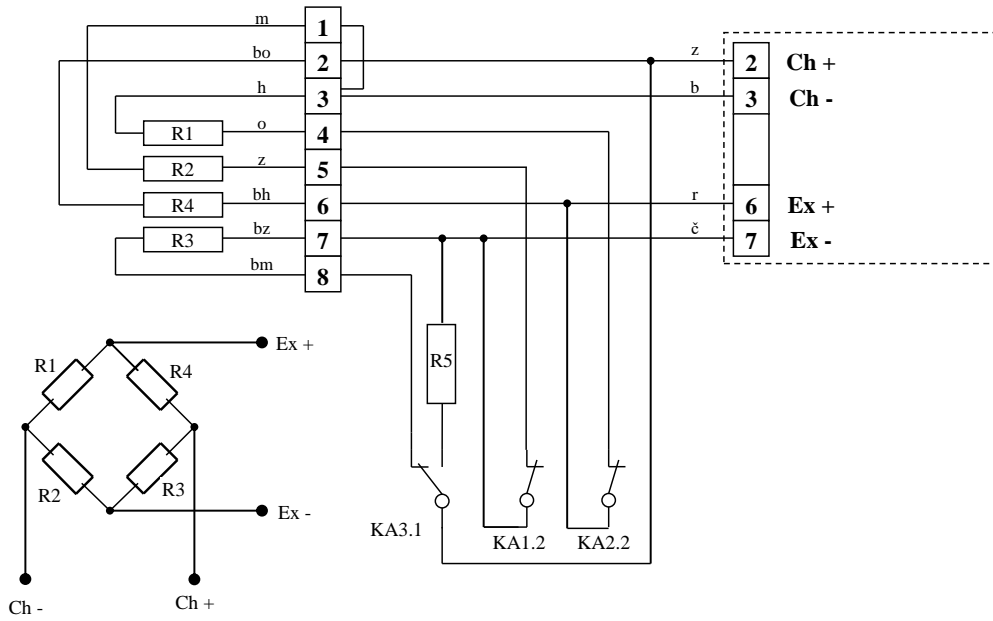
B Blokový diagram měření rychlých dějů



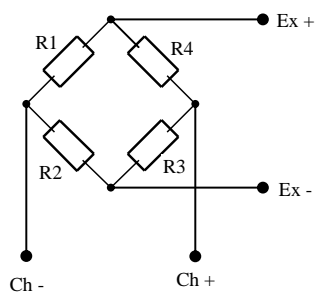
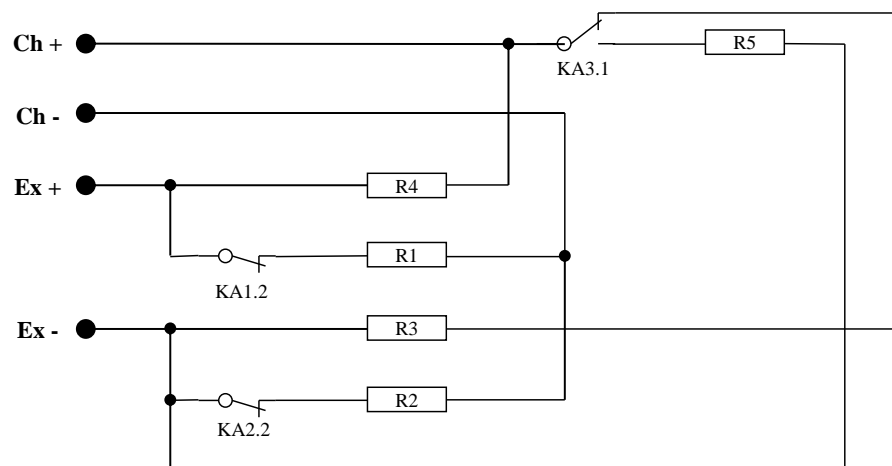
C Schéma zapojení topného tělesa s ventilátorem



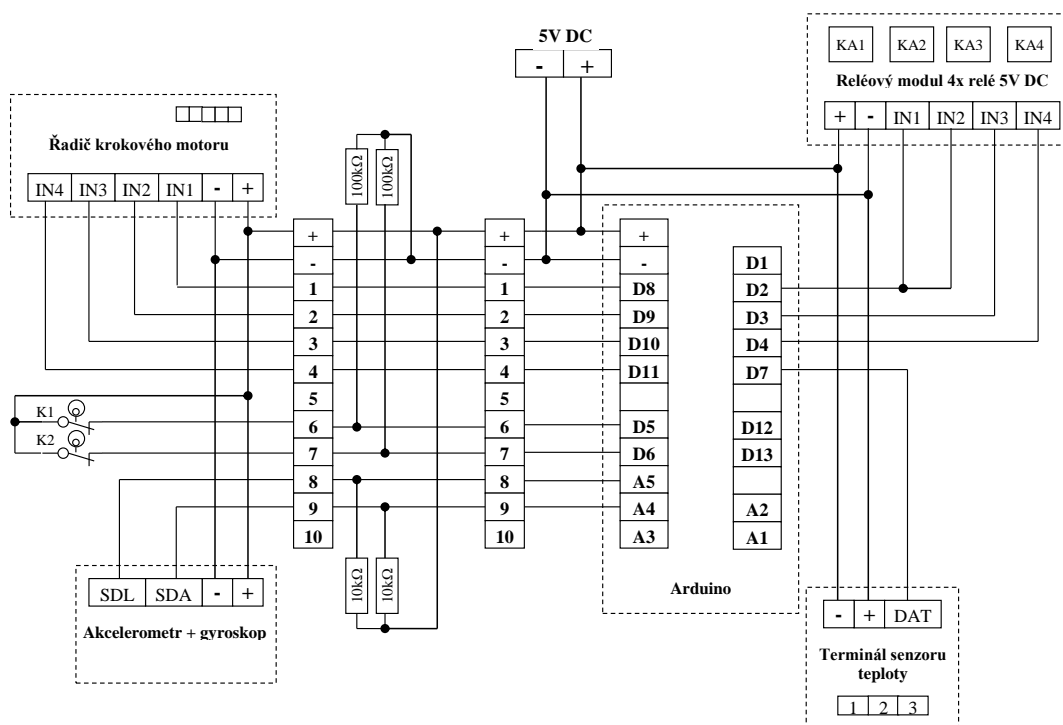
D Přehledové schéma zapojení nastavitelného tenzometrického můstku



E Liniové schéma zapojení nastavitelného tenzometrického můstku



F Zapojení Arduino a pomocných obvodů



G Měřicí smyčka v LabVIEW

